



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**LAPVÄÄRTIN-ISOJOEN
POHJAVESIVAIKUTTEISUUS SEKÄ
VEDENLAADUN VAIHTELU**

Heidi Luusua

YMPÄRISTÖTEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Diplomityö

Maaliskuu 2020

TIIVISTELMÄ

Lapväärtin-Isojoen pohjavesivaikuttaisuus sekä vedenlaadun vaihtelu

Heidi Luusua

Oulun yliopisto, Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Diplomityö 2020, 111 s. + 8 liitettä

Työn ohjaajat yliopistolla: TkT Anna-Kaisa Ronkanen, TkT Pekka Rossi

Tämän diplomityön päätavoitteena oli selvittää pohjavesivaikuttaisuutta Lapväärtin-Isojoessa sekä Heikkilänjoessa, joka on yksi sen suurimmista sivujoista. Tämä liittyi ELY-keskusten vuonna 2016 aloittamaan pohjavesialueiden uudelleen rajaamiseen ja luokitteluun, jossa määritellään uudelleen myös aiemmin inventoidut pohjavesialueet. Uuteen luokitteluun tuli vedenoton mukaan määräytyvien luokkien 1 ja 2 lisäksi mukaan myös uusi ekosysteemeihin perustuva luokka E. E-luokitus annetaan pohjavesialueille, joiden vedestä jokin luonnontilainen tai luonnontilaisen kaltainen, muun lainsäädännön perusteella suojeltu merkittävä pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen. Työssä selvitettiin pohjaveden purkautumista pohjavesialueilta jokiin, jonka oli tarkoitus palvella Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen tekemää pohjavesialueiden uudelleenluokittelua E-luokituksen osalta, sillä Lapväärtin-Isojoki ja Heikkilänjoki kuuluvat Natura 2000-suojelualueisiin niissä elävien meritaimen- ja jokihelmisimpukkakantojen vuoksi. Pohjavesivaikuttaisuuden lisäksi tutkittiin jokien vedenlaatua, jota oli tarkoitus hyödyntää osana Lapväärtin-Isojoelle tehtävää valuma-alue suunnitelmaa.

Pohjaveden purkautumista tutkittiin pääasiassa veden stabiilien isotooppien ^{18}O ja ^2H avulla. Lisäksi tutkimusten tukena käytettiin veden piidioksidipitoisuutta, lämpötilaa sekä virtaamia. Vesien laatua tutkittiin analysoimalla vesinäytteistä väriluku, pH, alkaliniteetti, happipitoisuus, hapen kyllästysprosentti, COD_{Mn} , nitraattityppi, ammoniumtyppi, fosfaattifosfori, mangaani sekä rauta.

Työhön kuului kenttämittausjakso, joka toteutettiin 7.8.-18.8.2018 alivirtaamakauden aikaan. Jokivesistä otettujen näytteiden ja virtaamamittausten lisäksi näytteitä otettiin

Lapväärtin-Isojoen valuma-alueen pohjavesistä, järvivesistä sekä sadevesistä. Lisäksi analysoitiin veden stabiilit isotoopit Vaasassa vuosina 2016 ja 2017 kerätyistä kuukausisadantanäytteistä. Pitkän ajan virtaamadataa saatiin Peruksen havaintoasemalta.

Käytettyjen pohjavesi-indikaattorien perusteella Lapväärtin-Isojoen ja Heikkilänjoen pääuomissa pohjavesisignaalit olivat korkeat koko näytteenottomatkalta. Heikkilänjoessa pohjaveden osuus oli Lapväärtin-Isojokea suurempi. Pohjavesialueilta, joiden läpi Lapväärtin-Isojoki kulkee, havaittiin pohjavesisignaalin nousua erityisesti Kortesmäen, Hurttakankaan, Rimpikankaan sekä Jätinmäen ja Ristikankaan kohdalla. Lisäksi uomaan näytti tulosten perusteella purkautuvan pohjavettä kahdessa kohdassa, joissa ei luokiteltuja pohjavesialueita sijainnut sekä muutaman sivu-uoman kautta.

Lapväärtin-Isojoen ravinnepitoisuudet kasvoivat merkittävästi yläjuoksulla, jossa sijaitsi myös suurin osa tarkastelluista pohjavesialueista. Heikkilänjoen ravinnepitoisuudet olivat selvästi Lapväärtin-Isojoen pitoisuuksia matalammat ja sen laskettua Lapväärtin-Isojokeen, ravinnepitoisuudet myös Lapväärtin-Isojoessa laimenivat nopeasti. Koska pohjavesialueilla ja ravinnepitoisuuksien nousulla havaittiin yhteys, voidaan olettaa, että pohjavesivirtauksen mukana kulkeutui ravinteita uomaan varsinkin nitraattitypen osalta. Tätä johtopäätöstä tukee se, että osassa pohjavesialueilta mitatuissa vesinäytteissä oli huomattavasti korkeammat nitraattityppipitoisuudet kuin uomassa. Pääasiallisia ravinnekuormittajia ovat todennäköisesti valuma-alueella tapahtuva peltoviljely, metsätalous ja ojitukset. Typen osalta yksi suurimmista pistekuormittajista oli mahdollisesti Isojoen jätevedenpuhdistamo, jonka kohdalla Lapväärtin-Isojoen typpipitoisuudet selvästi kasvoivat.

Koska kesä 2018 oli poikkeuksellisen lämmin ja vähäsateinen, valuma-alueelta tuleva vesistökuormitus jäi normaalia vähäisemmäksi ja jätevesien ja muiden pistekuormitusten merkitys kasvoi. Myös pohjaveden korkeuden havaittiin olevan keskimääräistä matalampi. Diplomityön puitteissa kerätyt tulokset eivät välttämättä vastaa keskimääräisiä arvoja alueelta. Tulokset ovat kuitenkin käyttökelpoisia valuma-alue tarkastelun sekä pohjavesialueiden luokittelun kannalta.

Asiasanat: hydrologia, pohjavesi, vedenlaatu

ABSTRACT

Role of the groundwater in the Lapväärtin-Isojoki river and variation in its water quality

Heidi Luusua

University of Oulu, Degree Programme of Environmental Engineering

Master's thesis 2020, 111 pp. + 8 Appendixes

Supervisors at the university: Anna-Kaisa Ronkanen D.Sc. (Tech.), Pekka Rossi D.Sc. (Tech.)

The main aim of this thesis was to study the interactions of groundwater and surface water in the rivers of Lapväärtin-Isojoki and Heikkilänjoki. At the time of writing the thesis, there were the process of redefining and classifying groundwater areas in Finland by the ELY Centres. In addition to categories 1 and 2 based on water supply, the new classification also includes a new category of E which is based on ecosystems. E-rating is given to groundwater areas, which water some natural state significant surface system or terrestrial ecosystem which is also protected by law is depended on. In this study was investigated discharges of groundwater from the groundwater areas into the studied rivers. The aim of this was to serve the reclassification of groundwater areas made by South Ostrobothnia ELY Center for E-classification, because the rivers of Lapväärtin-Isojoki and Heikkilänjoki are Natural 2000 protected areas due to their populations of sea trout and freshwater pearl mussels. In addition to the groundwater impact, the water quality of the Lapväärtin-Isojoki and Heikkilänjoki rivers was studied, which was to be used a part of the river drainage basin studies for the Lapväärtin-Isojoki river.

Groundwater discharge was mainly investigated by the stable isotopes of water ^{18}O and ^2H . In addition, the water content, temperature and flowrate were used to support the studies. Water quality was estimated by analyzing color number, pH, alkalinity, oxygen concentration, oxygen saturation percentage, COD_{Mn} , $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, manganese and iron of water samples.

The work included a field measurement period 7.8.-18.8.2018 during the low flow season. In addition to river samples and flow measurements, the samples were taken from the groundwaters, lakes and rainwater of the Lapväärtin-Isojoki drainage basin. Stable isotopes of water were also analyzed from monthly rain samples collected in Vaasa in 2016-2017. Long-term discharge data for the River Lapväärtinjoki was collected at the Perus Station.

Based on the groundwater indicators used, the groundwater signals of both rivers were generally high. In Heikkilänjoki, groundwater signal was stronger than in the Lapväärtin-Isojoki. In groundwater areas which the river of Lapväärtin-Isojoki passes through, an increase in groundwater signal in river was observed especially when it passed the groundwater areas of Kortesmäki, Hurttakangas, Rimpikangas, Jätinmäki and Ristikangas. The results showed also that the groundwater was discharged at two locations where no classified groundwater areas were located, and through a few tributary streams.

The nutrient concentrations of the Lapväärtin-Isojoki river increased significantly in the upstream, where is located most of the investigated groundwater areas. The nutrient concentrations in the river of Heikkilänjoki were lower than those in the Lapväärtin-Isojoki and after Heikkilänjoki joined Lapväärtin-Isojoki, the nutrient concentrations also decreased rapidly in the Lapväärtin-Isojoki river. Some of the groundwater areas had significantly high concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$ and according to observations it can be assumed that nutrients, especially $\text{NO}_3\text{-N}$, were transported to the river by groundwater flow. The main nutrient loads are likely to come from farming, forestry and drainage in the drainage basin. One of the major point sources of nitrogen was also possibly the Isojoki Wastewater Treatment Plant.

Due to the exceptionally warm weather and low rainfall in summer 2018, the discharge of water from the drainage basin was lower than normal and the importance of wastewater and other point loads increased. Groundwater levels were also found to be below average. That's why the results collected in the thesis may not correspond to the average values of the area. However, the results are useful for the river basin survey and the classification of the groundwater areas.

Keywords: hydrology, groundwater, water quality

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin yhteistyössä Oulun yliopiston sekä Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen kanssa ja se toteutettiin osana Freshabit LIFE IP -hanketta. Kiitos työn rahoittamisesta kuuluu yllä mainittujen tahojen lisäksi Maa- ja vesitekniikan tuki ry:lle. Diplomityön päätarkoituksena oli selvittää pohjavesivaikutteisuutta Lapväärtin-Isojoessa sekä Heikkilänjoessa. Pohjavesivaikutteisuuden lisäksi tutkittiin jokien vedenlaatua. Työ toteutettiin ajanjaksolla 5/2018 - 3/2020 ja siihen kuului myös kenttämittauskausi, joka toteutettiin 7.8.-18.8.2018.

Lämmin kiitos työn ohjaajille Anna-Kaisa Ronkaselle ja Pekka Rossille Oulun yliopistolta sekä Erika Ritalammelle ja Anne Petäjä-Ronkaiselle Etelä-Pohjanmaan ELY-keskukselta asiantuntevasta avusta ja ohjaamisesta diplomityötä tehdessä. Iso kiitos myös Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen harjoittelijoille Jaanalle ja Monalle, jotka olivat mukana tekemässä näytteenottoja ja virtaamamittauksia sekä Tilda Rantatarolle ja muille pohjavesinäytteiden keräämisessä mukana olleille. Tildalle kiitos myös diplomityön kommentoinnista.

Kiitos myös perheelle ja ystäville kannustuksesta ja tuesta opinnoissa ja niiden ulkopuolella.

Oulu, 08.03.2020

Heidi Luusua
Heidi Luusua

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	7
2 POHJAVESI HYDROLOGISESSA KIERROSSA	9
2.1 Vesivarat ja hydrologinen kierto	9
2.2 Maaperän vesivyöhykkeet	10
2.3 Pohjaveden muodostuminen ja purkautuminen	11
2.4 Pohjavesialueiden luokittelu Suomessa	11
2.4.1 Luokituksen tausta ja tavoitteet	11
2.4.2 Pohjavesialueiden luokat	13
2.5 Pohjaveden suojelua ohjaava lainsäädäntö	15
2.6 Pohjaveden merkitys virtavesien laatuun	15
2.6.1 Vesien mukana kulkeutuvat ravinteet	16
2.6.2 Pinta- ja pohjaveden laadun mittareita	18
2.6.3 Ihmistoiminnan vaikutus vesien laatuun	22
2.7 Pohjaveden merkitys virtavesien hydrologiaan	23
2.8 Pohjavettä indikoivat merkkiaineet	24
2.8.1 Veden stabiilit isotoopit	24
2.8.2 Muita merkkiaineita	27
2.9 Pohjavesistä riippuvaisten lajien suojelu	27
2.9.1 Jokihelmisimpukka	28
2.9.2 Meritaimen	29
3 LAPVÄÄRTIN-ISOJOKI	31
3.1 Lapväärtinjoen vesistöalue	31
3.2 Lapväärtinjoen vesistöalueen pohjavesialueet ja niiden luokittelu	34
3.3 Maankäyttö vesistöalueella	37
3.4 Lapväärtin-Isojoen vedenlaatu ja virtaama	39
3.5 Jokeen kohdistuvia toimenpiteitä ja muutoksia	40
4 KOEKOHDEN JA KÄYTETTYJÄ TUTKIMUSMENETELMIÄ	43
4.1 Koekohde	43
4.2 Tutkimuspisteiden sijoittuminen	44
4.2.1 Jokiuomien tutkimuspisteet	44

4.2.2 Pohjavesialueiden tarkasteluun liittyvät tutkimuspisteet.....	50
4.3 Tutkimusmenetelmät.....	51
4.3.1 Pohjavesi-indikaattorit ja muut veden laatua mittaavat tekijät.....	51
4.3.2 Virtaama	52
5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	55
5.1 Veden stabiilit isotoopit ja piidioksidi	55
5.1.1 Sadevesinäytteet	55
5.1.2 Pohjavesinäytteet ja huokosvesinäytteet.....	58
5.1.3 Pintavesinäytteet	61
5.2 Pohjavesinäytteiden ravinteet ja muut laatuparametrit	65
5.3 Pohjaveden purkautuminen Lapväärtin-Isojoella ja Heikkilänjoella.....	67
5.3.1 Lapväärtin-Isojoen pääuoman ja sivu-uomien pohjavesivaikutteisuus	67
5.3.2 Heikkilänjoen pääuoman ja sivu-uomien pohjavesivaikutteisuus.....	76
5.3.3 Pohjaveden purkautuminen Lapväärtin-Isojokeen luokiteltujen pohjavesialueiden kohdalla	82
5.4 Lapväärtin-Isojoen ja sen sivuhaarojen vedenlaatu	92
5.4.1 Lapväärtin-Isojoen vedenlaadun vaihtelu.....	92
5.4.2 Heikkilänjoen vedenlaadun vaihtelu.....	100
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	104
7 LÄHDELUETTELO.....	106

LIITTEET:

- Liite 1. Lapväärtin-Isojoen näytepisteet.
- Liite 2. Lapväärtin-Isojoen pohjavesi-indikaattorien ja virtaamamittausten tulokset.
- Liite 3. Lapväärtin-Isojoen vesinäytteiden laadun analyysitulokset.
- Liite 4. Heikkilänjoen näytepisteet.
- Liite 5. Heikkilänjoen pohjavesi-indikaattorien ja virtaamamittausten tulokset.
- Liite 6. Heikkilänjoen vesinäytteiden laadun analyysitulokset.
- Liite 7. Lapväärtin-Isojoen isotooppitulokset.
- Liite 8. Heikkilänjoen isotooppitulokset.

1 JOHDANTO

Tämän diplomityön kirjoittamisen aikaan Suomessa oli menossa vuonna 2016 aloitettu pohjavesialueiden uudelleenluokittelu ELY-keskusten (Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus) toimesta, jossa käytiin läpi myös vanhaan luokitukseen kuuluvat pohjavesialueet. Aiemmassa pohjavesiluokituksessa huomioitiin vain sellaiset pohjavesimuodostumat, joista olisi mahdollista saada vettä yhdyskuntien hyödynnettäväksi, ja ne jaettiin käyttökelpoisuuden ja suojelutarpeen mukaan luokkiin I, II ja III. Uudessa luokituksessa III-luokka jätettiin pois ja siihen kuuluvat pohjavesialueet arvioitiin joko muihin luokkiin tai poistettiin luokituksesta. Uudessa luokituksessa pohjavesialueet luokitellaan vedenoton mukaan luokkiin 1 ja 2. Lisäksi luokitukseen tuli mukaan E-luokka, joka annetaan pohjavesialueelle, jonka vedestä jokin luonnontilainen tai luonnontilaisen kaltainen, muun lainsäädännön perusteella suojeltu, merkittävä pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen. Pohjavedestä riippuvaisiin pintavesiekosysteemeihin voivat kuulua joet, joihin pohjavettä purkautuu merkittävässä määrin ja sillä on merkitystä pintavesiekosysteemin suojelun ja säilymisen kannalta.

Lapväärtin-Isojoen valuma-alueella sijaitsee useita Natura2000-verkostoon kuuluvia alueita. Myös Lapväärtin-Isojoen jokialue sekä Heikkilänjoki kuuluvat Natura2000-verkostoon, sillä siellä elää meritaimen- ja jokihelmisimpukkakantoja, jotka ovat uhanalaisia sekä laissa suojeltuja. Yhtenä diplomityön tavoitteena olikin selvittää, purkautuuko pohjavesialueilta Lapväärtin-Isojokeen pohjavettä niin merkittäviä määriä, että joessa elävät taimen- ja simpukkapopulaatiot voivat hyötyä pohjavesialueilta purkautuvasta pohjavedestä ja pohjavesialueet voidaan huomioida E-luokituksessa.

Pohjavesien purkautumisen lisäksi toisena tavoitteena diplomityössä oli selvittää Lapväärtin-Isojoessa sekä Heikkilänjoessa virtaavien vesien laatua ja ravinnekulkeumia. Diplomityö on ollut osa Freshabit LIFE IP -hanketta ja sitä on ollut tarkoitus hyödyntää myös osana Lapväärtin-Isojoelle tehtävää valuma-aluesuunnitelmaa.

Jokien pohjavesivaikuttaisuutta selvitettiin pääasiassa veden stabiilien isotooppien ¹⁸O ja ²H avulla ja niiden tukena käytettiin veden piidioksidipitoisuutta, lämpötiloja sekä virtaamaa. Veden laatua tutkittiin analysoimalla vesinäytteistä nitraattityppi,

ammoniumtyppi, fosfaattifosfori, väriluku, pH, alkaliniteetti, happipitoisuus, hapen kyllästysprosentti, COD_{Mn}, mangaani sekä rauta.

2 POHJAVESI HYDROLOGISESSA KIERROSSA

2.1 Vesivarat ja hydrologinen kierto

Maapallon vesivaroista suurin osa on valtamerissä ja toiseksi eniten vettä on varastoituneena jäätiköihin. Kolmanneksi eniten vettä on pohjavetenä, noin 0,53%. Pintavetenä on noin 0,007% maapallon vesivaroista. Näiden lisäksi vettä on myös ilmakehässä sekä maanpinnan alla olevassa vedellä kyllästymättömässä vyöhykkeessä. Jos jäätiköitä ei oteta lukuun, on noin 98% makeasta vedestä pohjavettä. (Mälkki 1999, s. 20)

Maapallolla oleva vesi on jakautunut mereen, ilmakehään sekä mantereille ja se on näiden välillä jatkuvassa kiertoliikkeessä sadannan, valunnan ja haihdunnan kautta. Veden hydrologisen kiertokulun lähtökohtana on se, että vesi ei katoa minnekään, vaan sen määrä pysyy vakiona pitkällä aikavälillä. Ilmakehässä oleva vesihöyry tiivistyy ja lopulta painovoiman vaikutuksesta sataa vetenä, lumena tai sumuna kohti maanpintaa, jossa se saavuttaa meren tai mantereen. Mantereelle päätyneestä vedestä osa imeytyy pohjavedeksi maa- tai kallioperään ja osa jatkaa kohti meriä pinta- tai maavesivaluntana esimerkiksi jokien ja järvien kautta. Aikanaan vesi haihtuu takaisin ilmakehään merien tai vesistöjen pinnalta, maaperästä tai kasvillisuudesta sekä lumesta tai jäästä. Myös maa- ja kallioperään imeytynyt pohjavesi siirtyy joko kapillaarivoimien- ja kasvillisuuden vaikutuksesta maanpinnalle ja haihtuu siitä ilmakehään tai päättyy lopulta pohjavesivaluntana pintavesistöihin. Vesitaseyhtälöllä (yhtälö 1) voidaan kuvata alueella olevaa vesimäärää tietyllä ajanjaksolla. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 18-20)

$$P = Q + E + \Delta S \quad (1)$$

missä P = sadanta

Q = valunta

E = haihdunta

ΔS = alueelle varastoituneen veden määrä

2.2 Maaperän vesivyöhykkeet

Kun tutkitaan maan kyllästysastetta, vedenpainetta, veden liikkuvuutta maaperässä sekä veden sitoutumista, maaperä jaetaan vertikaalisesti yleensä neljään vyöhykkeeseen. Vyöhykkeet ovat maanpinnasta lukien juurivyöhyke, välivyöhyke, kapillaarivyöhyke sekä pohjavesivyöhyke. Juurivyöhyke tarkoittaa maakerrosta, johon kasvien juuret ulottuvat. Sen koko riippuu kasvillisuudesta ja maalajista ja on yleensä alle metrin paksuinen. Juurivyöhykkeessä on vapaata vettä, kapillaarivettä ja hygroskooppista vettä. Välivyöhyke sijaitsee juurivyöhykkeen ja kapillaarivyöhykkeen välissä ja voi olla jopa kymmeniä metrejä paksu, mutta voi myös puuttua kokonaan. Välivyöhykkeessä on vapaata vettä ja adsorptiovettä. Kapillaarivyöhykkeessä vesi on sitoutunut kapillaarivoimin ja se on vedellä osittain tai kokonaan kyllästynyt. Kapillaarivyöhykkeen paksuus riippuu raekoosta ja voi hienorakeisessa maalajissa olla jopa metrejä. Pohjavesivyöhyke on alin vyöhyke vettä läpäisemättömän kerroksen päällä ja se on vedellä kokonaan kyllästynyt. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 35, 36)

Maa- ja kallioperässä olevat huokokset voivat olla siis veden osittain tai kokonaan kyllästämiä. Vettä, joka sijaitsee vain osaksi kyllästyneessä kerroksessa, sanotaan maavedeksi. Pohjavedellä taas tarkoitetaan vettä, joka sijaitsee maan pinnan alla vedellä kyllästyneessä vyöhykkeessä vettä läpäisemättömän maakerroksen päällä. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 35) Akviferilla tarkoitetaan muodostumaa, joka on veden kyllästävä ja jolla on vähintään tyydyttävä hydraulinen johtavuus (Mälkki 1999, s. 37).

Maailmanlaajuisesti tarkasteltuna noin puolet pohjavedestä on yli kilometrin syvyydellä maanpinnasta. Tällöin pohjavesi on vedenhankintaan soveltumatonta niin laadultaan kuin saatavuudeltaankin. Matalapohjavesi sen sijaan on tärkeä makean veden varasto ja siinä vesi on taloudellisesti käyttöönotettavissa. Suomessa pohjaveden pinta on yleensä 2-4 metrin syvyydellä, mutta harjalueilla jopa 30-50 metrin syvyydellä. Pohjaveden pinnan korkeus vaihtelee Suomessa vuodenaikojen mukaan. Pohjaveden pinta on korkeimmillaan keväällä, kun lumet sulavat, ja matalimmillaan kesällä, kun haihdunta on suurta. Syksyllä sateet nostavat pohjaveden pintaa ja talvella routa voi estää veden imeytymisen maaperään. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 23, 37, 38) Luonnollisen vaihtelun lisäksi esimerkiksi pohjaveden runsas käyttö voi laskea pohjaveden pintaa ja maaperän muokkaus esimerkiksi metsien hakkuilla voivat vaikuttaa maaperään suotautuvan veden määrään (Suomen ympäristökeskus 2019).

2.3 Pohjaveden muodostuminen ja purkautuminen

Pohjavettä muodostuu, kun vesi imeytyy maahan ja kulkeutuu pohjavesivyöhykkeeseen asti. Veden imeytymiseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa maa- ja kallioperän vedenjohtavuus, sateen määrä ja kesto, maaston kaltevuus ja muoto, maanpinnan laatu ja kasvillisuus. Hienorakeisilla mailla, kuten savisella maalla, pohjaveden muodostuminen on vähäistä, sillä niissä vedenjohtavuus on pienempi kuin esimerkiksi karkearakeisilla moreenimailla. Myös kalliopaljastumilla pohjaveden muodostuminen on suhteellisen suurta, sillä kallionpinnalta vesi joutuu suoraan kallion rakosysteemeihin, valuu paljastumaa reunustaviin maakerroksiin tai haihtuu kallion pinnalta. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 26, 27)

Veden hydrologisen kierron vuoksi, pohjavesivyöhykkeeseen imeytyy jatkuvasti uutta vettä, ja jotta vesivaraston tasapaino säilyy, purkautuu vettä myös jatkuvasti sieltä pois. Pohjavesi voi purkautua joko haihtumalla, tihkumalla tai virtoina lähteistä. Purkautumispaikkoja on yleensä vaikea havaita, sillä ne ovat usein kasvillisuuden tai veden peittämiä, tai niitä ei näy lainkaan. Sen vuoksi myös pohjaveden purkautumisen määrän mittaaminen on vaikeaa. Talvisin sulat kohdat vesistöjen rannoilla voivat paljastaa piilossa olevien lähteiden paikat. (Mälkki 1999, s. 30, 31)

2.4 Pohjavesialueiden luokittelu Suomessa

2.4.1 Luokituksen tausta ja tavoitteet

Suomessa 60-65% käytetystä talousvedestä on pohjavettä. Pohjaveden suuri käyttö perustuu muun muassa siihen, että luonnontilainen pohjavesi on tasalaatuista ja sitä täytyy käsitellä talousvesikäyttöön kemiallisesti vain vähän, toisin kuin pintavettä. Pohjavedenottoja on Suomessa noin 1800 ja niistä noin 1000 toimittaa vettä alle 500 asukkaalle. Yksityistalouksilla on Suomessa noin 150 000 kallioporakaivoa, joista yli sataa käytetään yhteisvedenhankinnassa. (Britschgi ym. 2018, s. 22-23)

Pohjavesialueiden luokittelussa ja kartoituksessa on aiemmin huomioitu lähinnä vain sellaiset muodostumat, joista olisi mahdollista saada vettä yhdyskuntien hyödynnettäväksi. Pohjavesialueiden merkitys on vanhassa luokituksessa keskittynyt talousvedenhankintaan ja luokituksen avulla on pyritty edistämään yhdyskuntien ja haja-asutuksen vedenhankintaa. Alueet luokiteltiin käyttökelpoisuuden ja suojelutarpeen

mukaan kolmeen luokkaan; I Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue, II Vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue sekä III Muu pohjavesialue. Luokkaan III luokiteltiin alueet, joiden hyödyntämiskelpoisuuden eli puhdistamiskelpoisuus arviointi vaati vielä lisätutkimuksia. Tutkimukset koskivat esimerkiksi vedensaatiedellytyksiä, veden laatua tai likaantumis- ja muuttumisuhkaa. (Britschgi ym. 2009, s. 10-11, 14)

Vuonna 2018 julkaistun uuden pohjavesien luokittelua koskevan oppaan mukaan pohjavesialueet luokitellaan jatkossa vedenhankintaa varten tärkeisiin pohjavesialueisiin (luokka 1) ja muihin vedenhankintaan soveltuviin pohjavesialueisiin (luokka 2). Näiden lisäksi E-luokitus annetaan pohjavesialueille, joiden vedestä joku lainsäädännön perusteella suojeltu pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen. ELY-keskukset (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus) määrittävät pohjavesialueiden rajat sekä niiden muodostumisalueet vuonna 2015 uudistetun VMJL:n (Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä) ja vesienhoitoasetuksen mukaisesti. Tämä uusi lainsäädäntöön perustuva luokittelu on tullut voimaan 1.2.2015 alkaen ja luokituksen mukainen pohjavesialueiden määrittäminen ja rajaaminen on aloitettu ELY-keskuksissa vuonna 2016. Luokittelu tehdään loppuun resurssien puitteissa. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksessa luokittelu saataneen valmiiksi vuoden 2021 loppuun mennessä. Uudelleen määrittelyn yhteydessä tarkastellaan uudelleen myös kaikki aiemmin inventoidut pohjavesialueet. Pohjavesialueen rajaaminen tulee perustua ajantasaiseen, tarkkaan ja perusteelliseen saatavilla olevaan hydrogeologiseen tietoon. Määrittämisen ja luokituksen lähtökohtana käytetään kuitenkin aiemmin tehtyjä ympäristöhallinnon sisäisiin ohjeistuksiin perustuneita kartoituksia ja luokituksia. Pohjavesialueen luokitusta ja rajausta voidaan myös myöhemmin muuttaa, mikäli tarve vaatii, esimerkiksi pohjavesi- tai maaperätutkimusten perusteella. (Britschgi ym. 2018, s. 27, 30, 60, 127)

Kun pohjavesialueita luokitellaan ja määritellään, tutkitaan niiden rajojen lisäksi myös virtausolosuhteita, laatua, käyttökelpoisuutta vedenhankintaan sekä sitä, onko joku pintavesi- tai maaekosysteemi riippuvainen pohjavesimuodostuman vedestä ja vaatiiko niiden elinvoimaisuuden turvaaminen erityistoimia. Samalla tutkitaan alueen maankäyttöä ja selvitetään pohjavedelle mahdollisia vaaratekijöitä. Tätä tutkimustietoa tallennetaan Pohjavesitietojärjestelmä POVET:iin. Pohjavesialueista saatua tutkimustietoa voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi, kun suunnitellaan pohjavesialueille sijoittuvaa toimintaa. Esimerkiksi kaavoituksella ja rakentamisen ohjauksella voidaan

suojeilla pohjavesialueita ja niistä riippuvaisia ekosysteemejä. (Britschgi ym. 2018, s. 30,31)

2.4.2 Pohjavesialueiden luokat

VMJL:ssä on määritelty, että ELY-keskus luokittelee 1-luokkaan ”pohjavesialueen, jonka vettä joko käytetään tai on tarkoitus käyttää yhdyskunnan vedenhankintaan taikka talousvetenä enemmän kuin keskimäärin 10 kuutiometriä vuorokaudessa tai yli viidenkymmenen ihmisen tarpeisiin”. Sen mukaan 1-luokan pohjavesialuetta siis käytetään jo vedenottoon tai sen käyttöä on suunniteltu vedenottoon ja on selvitetty, että vedenotto yhdyskunnan vedenhankintaa varten on mahdollista. (Britschgi ym. 2018, s. 46, 47)

VMJL:n mukaan 2-luokkaan luokitellaan ELY-keskuksen toimesta muut vedenhankintaan soveltuvat pohjavesialueet, jotka soveltuvat 1-luokan edellytysten mukaisiin käyttötarkoituksiin antoisuutensa ja muiden ominaisuuksiensa perusteella. Näin ollen 2-luokan pohjavesialueella muodostuvan pohjaveden määrän tulisi mahdollistaa pohjavesialueen käyttäminen 1-luokan mukaiseen vedenottoon, vaikka antoisuudelle ei laissa olekaan määritelty tarkkaa rajaa. Tämä tarkoittaa pääsääntöisesti yli 100 m³/d pohjavedenmuodostumista alueella. Muita laissa tarkoitettuja ominaisuuksia ovat pohjavesimuodostuman hydrogeologiset ja muut luonnontieteelliset ominaispiirteet, jotka muun muassa mahdollistavat pohjaveden riittävän virtauksen, joka tarvitaan vedenottoon. 2-luokan pohjavesialueet ovat siis ominaisuuksiltaan vedenhankintakäyttöön soveltuvia, ja niitä voidaan käyttää, jos tarvetta tulevaisuudessa ilmenee. Niiden vedenhankintakäyttö ei kuitenkaan ole tällä hetkellä ajankohtaista eikä käyttö ole suunnitelmassa, koska se esimerkiksi sijaitsee vedenkulutusalueisiin nähden epäedullisessa paikassa. (Britschgi ym. 2018, s. 49, 50)

Veden laatu tai sitä uhkaavat riskitekijät eivät siis vaikuta siihen, luokitellaanko pohjavesialue 1- tai 2-luokkaan. Vaikka vedenlaatu olisi heikko, sitä voidaan käyttää vedenhankinnassa, jos vesi voidaan puhdistaa talousveden puhdistusmenetelmillä laatuvaatimuksia vastaavalle tasolle. Lisäksi vesienhoidon tavoitteena on parantaa laadultaan huonompien pohjavesimuodostumien tilaa. (Britschgi ym. 2018, s. 50)

VMJL määrittää lisäksi pohjavesiluokan E. Tähän luokkaan voidaan määritellä pohjavesialue, jonka pohjavesi ylläpitää merkittävää maa- tai pintavesiekosysteemiä.

Pohjavesialue voi kuulua E-luokkaan, vaikka se ei olisikaan 1- tai 2-luokan pohjavesialue. Mikäli pohjavesialue kuuluu lisäksi 1- tai 2-luokkaan, käytetään merkintää 1E tai 2E. Jotta pohjavesialue voidaan luokitella E-luokkaan, on siitä riippuvaisen ekosysteemin VMJL:n mukaisesti täytettävä 4 kriteeriä. Ensimmäisen kriteerin mukaan maa- tai pintavesiekosysteemin on oltava suoraan riippuvainen pohjavesialueelta purkautuvasta pohjavedestä. Pohjavedestä riippuvaisia pintavesiekosysteemejä ovat pintavedet, joihin pohjavettä purkautuu merkittävässä määrin ja sillä on merkitystä pintavesiekosysteemin suojelun ja säilymisen kannalta. Maaekosysteemejä voivat olla esimerkiksi lähteet, lähdepurot ja -lammet sekä suot, jotka ovat lähdevaikutteisia. Mikäli muutos pohjaveden laadussa tai virtauksessa aiheuttaa ekosysteemin tilan heikentymistä, tulkitaan se pohjavedestä riippuvaiseksi. Jotta taas suoran riippuvuuden kriteeri täyttyy, on ekosysteemin oltava primääri pohjavedestä riippuvainen kohde. Mikäli pohjavesi virtaa kohteeseen välillisesti uoman tai puron kautta, ei sen katsota olevan suoraan riippuvainen pohjavedestä. Toisena kriteerinä E-luokkaan merkitsemiselle on se, että ekosysteemi on luonnontilainen tai sen kaltainen. Luonnontilaisuudelle tai luonnontilaisuuden kaltaisuudelle ei ole määritelmää VMJL:ssa. Pohjavesialueiden E-luokituksessa ei kuitenkaan tarvitse tehdä erillistä laajaa tarkastelua ekosysteemin luonnontilaisuudesta, koska yleensä muut kuin luonnontilaiset tai sen kaltaiset ekosysteemit eivät ole muussa lainsäädännössä suojeltuja. Kolmas kriteeri E-luokitukselle onkin se, että pohjavedestä riippuvaisen ekosysteemin täytyy olla muun lainsäädännön nojalla suojeltu. Nämä voivat olla esimerkiksi Natura 2000 -suojelualueita, jotka on perustettu luonnonsuojelulain mukaisesti. Luonnonsuojelulaissa on lisäksi määriteltä luonnonsuojelualueita, suojeltuja luontotyypppejä ja luonnonsuojeluohjelmaan kuuluvia alueita, joilla on voimassa toimenpiderajoitus. Vesilain nojalla on suojeltu lähteet, pohjavesiriippuvaiset norot ja lammet tai järvet. Metsälaissa erityisen tärkeisiin elinympäristöihin kuuluvat lähteiden ja lähdepurojen sekä pohjavesiriippuvaisten norojen ja purojen lähiympäristöt. Metsälaissa on suojeltu myös pohjavesivaikutteiset suotyypit, joihin kuuluu muun muassa lähdeletot ja lähdekorvet. Neljäs kriteeri pohjavesialueen E-merkintään on se, että pohjavesialueesta riippuvainen ekosysteemi on merkittävä. Se riippuu esimerkiksi suojellun alueen laajuudesta, uhanalaisten lajien esiintyvyydestä ja lajiston edustavuudesta sekä purkautuvan pohjaveden määrästä. (Britschgi ym. 2018, s. 51-55)

2.5 Pohjaveden suojelua ohjaava lainsäädäntö

Pohjaveden suojeluun liittyviä säännöksiä löytyy useista eri laista ja asetuksista. Lisäksi siihen otetaan lisäksi kantaa myös valtakunnallisissa alueidenkäyttötavoitteissa sekä muuta lainsäädäntöä täydentävissä valtioneuvoston periaatepäätöksissä. Pääasiassa pohjavedensuojelu perustuu ympäristönsuojelulakiin ja -asetukseen sekä vesilakiin. Ympäristönsuojelulaissa on muun muassa säädelty pohjaveden pilaamiskielto, jonka tarkoituksena on varmistaa yhdyskuntien vedenhankintaan soveltuvien pohjavesien suojelu. Vesilaissa säädetään muun muassa pohjaveden muuttamiskiellosta, joka säättää toimenpiteitä, joista voi aiheutua haitallisia muutoksia pohjaveden määrään tai laatuun. Muita pohjaveden suojeluun liittyviä lakeja ovat maa-aineslaki, maankäyttö- ja rakennuslaki, jätelaki, kemikaalilaki, terveydensuojelulaki sekä öljyvahinkojen torjuntalainsäädäntö. (Britschgi ym. 2009, s. 17-19) Kansallisessa lainsäädännössä on lisäksi laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä, jossa säädetään muun muassa pohjavesialueiden määrittämisestä ja luokituksesta (Britschgi ym. 2018, s. 29).

Lakien ja asetusten lisäksi myös kunnilla on ympäristönsuojelulain mukaan mahdollisuus antaa kuntaa tai sen osaa koskevia määräyksiä, jotka johtuvat paikallisista olosuhteista. Näiden avulla voidaan ehkäistä ympäristön hajapäästöluonteista pilaantumista, joka voi vaikuttaa myös vesiin. (Britschgi ym. 2009, s. 25)

2.6 Pohjaveden merkitys virtavesien laatuun

Aineita ja partikkeleita voi sitoutua ilmasta vesihöyryyn ja tulla sadeveden mukana maahan ja vesistöihin. Myös esimerkiksi tuuli voi irrottaa maaperästä epäpuhtauksia, jotka päätyvät vesistöihin. Kun veden hydrologisen kierron seurauksena pohjavettä purkautuu pintaveteen tai pintavettä suotautuu pohjavedeksi, kulkeutuu mukana myös ravintoaineita ja muita aineita sekä partikkeleita, jotka vaikuttavat vesien laatuun. Veteen liuenneet aineet kulkeutuvat advektio, diffuusion ja dispersion kautta maa- ja pohjaveden mukana (Karvonen 2016, s. 155). Advektio tarkoittaa aineen passiivista kulkeutumista veden mukana, jolloin veteen liennut aine liikkuu ainoastaan veden virtauksen ja suunnan mukaan. Diffuusiassa veden virtaus ei vaikuta molekyylien kulkeutumiseen vaan sen ajava voima on aineiden pitoisuuserojen tasoittuminen maaperässä. Dispersiota taas tapahtuu, kun vesi ja siihen liuenneet aineet liikkuvat huokoisessa maaperässä ja maapartikkelien vuoksi virtaus vaihtelee maaperässä

suunnaltaan ja nopeudeltaan. Näin ollen aineet leviävät myös poikkisuunnassa kulkureittiinsä nähden.

Maa- tai kallioperän alkuainekoostumus sekä ominaisuudet vaikuttavat siihen, mitä kaikkea vesiin kulkeutuu, kun pinta-, maa- ja pohjavesivalunta huuhtoo niitä. Veden koostumus muuttuu jatkuvasti sen kulkeutuessa maakerrosten läpi. Asioita, jotka vaikuttavat valunnan seurauksena pinta- ja pohjavesien laatuun, ovat muun muassa maa- ja kallioperän laatu, topografia, kasvillisuus sekä hydrologiset olosuhteet. (Hartikainen 2016a, s. 129)

Maaperä on Suomessa luontaisesti hapanta, sillä kallioperä, josta se on muodostunut, koostuu pääosin happamista kivilajeista. Lisäksi eloperäiset maalajit ovat yleisiä. Tämän vuoksi vedet ovat yleisesti herkkiä happamoitumaan ja niissä on korkea humuspitoisuus. Lisäksi pohjavesissä voi olla luonnostaan korkeita alkuainepitoisuuksia esimerkiksi raudan ja mangaanin suhteen. Monesti kohonneet pitoisuudet ovat kuitenkin ihmisten toiminnasta johtuvia. (Hartikainen 2016a, s. 129)

Pohjaveden koostumus ei ole muuttumaton, vaan se voi vaihdella ihmisten toiminnan lisäksi esimerkiksi vuodenaikojen mukaan. Tasapainon ennalleen palauttaminen voi olla vaikeaa, jos esimerkiksi ihmistoiminnan vuoksi veteen muodostuu happikato ja sen seurauksena rauta ja mangaani alkavat liueta siihen. Tasapaino voi häiriintyä esimerkiksi vedenoton vaikutuksesta, pohjavesimuodostuman viereisen vesistön vedenpinnan muuttuessa, ojitusten vuoksi tai jos pohjaveden muodostumisalue peitetään rakentamisen yhteydessä. (Mälkki 1999, s. 115)

2.6.1 Vesien mukana kulkeutuvat ravinteet

Kasvit tarvitsevat useita eri ilmakehästä sekä maasta saatavia ravinteita kasvaakseen ja yhteyttääkseen. Näistä kasvien tarvitsemista ravinteista vesiä rehevöittävät eniten typpi (N) ja fosfori (P) (Pietiläinen & Räike 1999, s. 7). Typen ja fosforin suhde on tärkeä vesien rehevöitymistä säätelevä tekijä, joista perustuotannon minimitekijä on yleensä fosfori Suomen sisävesissä (Paasonen-Kivekäs 2016, s.200). Maataloudesta peräisin olevasta ravinnehuuhtoumasta ympäristö kannalta haitallisimpia ovat vesiliukoiset muodot, joita levät voivat käyttää, eli nitraatti (NO₃-), ammonium (NH₄⁺) ja fosfaattifosfori (PO₄²⁻) (Karvonen 2016, s. 163).

Fosforia ei ole luonnossa vapaana alkuaineena vaan joko orgaanisena fosforina sitoutuneena eläviin soluihin tai epäorgaanisena fosforina eli fosfaattina. Orgaanista fosforia pääsee vesistöihin esimerkiksi maataloudessa lannan mukana ja epäorgaanista fosforia esimerkiksi jätevedessä olevien pesuaineiden mukana. Välittömästi kasvien käytössä on näistä vain maaveden epäorgaaninen fosfori, koska orgaaninen fosfori tulee käyttöön hitaammin, vasta entsyymaattisten pilkkoutumisreaktioiden jälkeen (Hartikainen 2016b, s. 183).

Fosfori pidättyy tehokkaasti maaperään ja päästessään vesistöön, se sitoutuu nopeasti biomassaan, jolloin fosforin pitoisuus vedessä ei välttämättä nouse. Fosfori vapautuu takaisin veteen, kun tuotettu levämassa alkaa hajota. Fosforin liuetessa veteen myös pohjasedimentti voi sitoa liuennutta fosforia. Kriittinen tilanne tulee, kun vesistön pohjanläheisen vesikerroksen happivarat kuluvat loppuun kasvavan biomassan hajotuksen myötä. Tällöin pohjasedimentissä oleva fosfori lähtee liikkeelle ja rehevöityminen vesistössä kiihtyy. Jotta tällainen rehevöitymiskierre ei pääse tapahtumaan, on fosforin pääsyä vesistöihin rajoitettava. (Hartikainen 2016b, s. 185,186)

Typpeä esiintyy luonnossa yleisesti muun muassa ilmakehässä vapaana alkuaineena ja muina kaasumaisina yhdisteinä sekä vesistöissä ja maaperässä orgaanisina yhdisteinä ja epäorgaanisena typpenä. Suurin osa maan tpestä on orgaanisessa muodossa ja muutama prosentti epäorgaanisessa muodossa. Tämä epäorgaanisessa muodossa oleva typpi on suoraan kasvien käytettävissä. Toisin kuin fosfori, typpi ei varastoidu helposti maaperään, vaan epäorgaaninen typpi huuhtoutuu herkästi pinta- ja pohjavesiin. (Paasonen-Kivekäs 2016, s.191,192).

Muutoin kuin kesällä, kokonaistypestä suuri osa on nitraattina, mutta kun levät ovat kesän aikana päässeet käyttämään sitä, voi loppukesän nitraattipitoisuus olla hyvin pieni. Saman veden nitraattipitoisuus voi olla loppukesästä 5 µg/l ja talvella 500-1000 µg/l. (Oravainen 1999, s. 20) Ammoniumtyppi hapettuu herkästi nitriitiksi ja nitraatti edelleen nopeasti nitraatiksi (Paasonen-Kivekäs 2016, s.195). Nitriittityppeä esiintyy vesistössä harvoin. Nitraattityppi on hyvin liukoista ja heti kasvien saatavilla, koska sillä ei ole fysikaalista tai kemiallista sitoutumismekanismia (Hartikainen 2016b, s. 188).

Hapettomissa oloissa nitraattia on vähän ja typpi esiintyy lähinnä ammoniumtyypenä. Ammoniumin lisääntyminen hapettomissa oloissa johtuu siitä, että kun happi loppuu, tiettyjen eliöiden toiminta jatkuu anaerobisena, ja happea otetaan tietyistä yhdisteistä. Tällöin nitraatti NO_3 muuttuu ammoniumiksi NH_4 , ja epäorgaaniset typpiyhdisteet esiintyvät ammoniumyhdisteinä. (Särkkä 1996, s. 54)

Ammoniumtypen suuret pitoisuudet (yli 100 $\mu\text{g/l}$) voivat kertoa joko vähähappisista olosuhteista tai jätevesikuormituksesta, sillä luonnonvesissä ammoniumtypeä on vähän. Myös turvesoiden valuma-alueilla ammoniumtypen pitoisuudet voivat kasvaa. Ammoniumtyppi voi aiheuttaa hapen kulutusta vesistöissä, varsinkin jos pitoisuuskasvu on yli 100 $\mu\text{g/l}$. (Oravainen 1999, s. 21)

Typeä voi tulla vesistöihin sadevesien, valumavesien tai jätevesien mukana. Eniten typpikuormituksen määrään vaikuttavat valunnan määrä, veden kulkeutumisreitti valuma-alueelta vesistöön välillä, maaperän ominaisuudet, typen reaktiot maaperässä sekä kasvillisuus ja maankäyttö (Paasonen-Kivekäs 2016, s.199). Jos peltoja on valuma-alueella paljon, lisäävät ne typpikuormaa. Typpipitoisuus on tyypillisesti korkeimmillaan talvella ja alimmillaan loppukesällä, sillä kesällä kasvit käyttävät typeä hyväkseen (Särkkä 1996, s. 54).

Typpikuormituksesta pinta- ja pohjavesissä, varsinkin nitraattitypen ja ammoniumtypen pitoisuuksien kasvu ilmentää ihmisen toiminnasta johtuvaa piste- tai hajakuormitusta. Ammoniumtypen pitoisuuksien kasvu voi johtua jätevedestä tai lannan huuhtoutumisesta. Sen huuhtoutumista rajoittaa kuitenkin se, että se hapettuu nitraatiksi ja pidättyy maa-ainekseen. Sen sijaan nitraattityppi huuhtoutuu herkästi veden mukana, sillä se ei pidäty niin helposti maahan. Tämä aiheuttaakin pohjavesiin korkeita nitraattityppipitoisuuksia monissa Keski-Euroopan maissa, joissa on paljon karjataloutta ja käytetään paljon väkilannoitteita. (Paasonen-Kivekäs 2016, s.199)

2.6.2 Pinta- ja pohjaveden laadun mittareita

Happipitoisuus ja hapen kyllästysprosentti

Akviferien pohjaveden happipitoisuus vaihtelee horisontaalisesti ja yleensä myös vertikaalisesti. Akviferin pohjaosissa esiintyy yleisemmin hapen puutetta kuin akviferin pintaosissa. Happipitoisuus vaikuttaa erityisesti helposti hapettuviin ja pelkistyviin

ioneihin, joita ovat esimerkiksi rauta ja mangaani, sekä nitriitti ja ammonium. Happipitoisuuden pienentyessä on havaittu rauta- ja mangaanipitoisuuksien kasvua, jonka ennalleen palauttaminen on vaikeaa. Erityisesti happipitoisuuden laskiessa alle 3 mg:aan litrassa, alkavat rauta- ja mangaanipitoisuudet nopeasti lisääntyä. On kuitenkin havaittu, että lukuarvot ovat tapauskohtaisia. (Mälkki 1999, s. 113-115)

Pohjaveden happipitoisuuteen vaikuttaa veden virtausolosuhteet sekä maaperän rakenne. Kun pohjavettä muodostuu runsaasti, lisää se veden happipitoisuutta, sillä tällöin myös pohjaveden varaston vaihtuvuus on yleensä nopeaa ja akviferiin virtaa runsashappista vettä. Jos taas maaperä on vähemmän vettä johtavaa, tulee myös happea vähemmän veden mukana. Myös vesivyöhykkeessä olevat happea kuluttavat aineet muuttavat veden happikoostumusta. Tämän seurauksena peitteisissä akvifereissa on yleensä niukkahappiset olosuhteet. Paikoissa, joissa vesi ei pääse vaihtumaan ollenkaan, muuttuu vesi happea kuluttavien prosessien vuoksi lopulta hapettomaksi. (Mälkki 1999, s. 114,115) Hapen liukeneminen veteen riippuu myös veden lämpötilasta, sillä kylmään veteen liukenee enemmän happea kuin lämpimään (Oravainen 1999, s. 4).

Veden pH ja alkaliniteetti

Veden pH ilmaisee vedessä olevan vetyionikonsentraation. Puhtaassa vedessä vetyioneja ja hydroksyyli-ioneja on yhtä paljon ja pH arvo on 7, mutta vetyioniväkevyyden kasvaessa hydroksyyli-ioniväkevyyttä suuremmaksi, veden pH muuttuu happamaksi eli se on alle 7. Kun veden pH on yli 7, vesi on emäksistä ja hydroksyyli-ioniväkevyyden on vetyioniväkevyyttä suurempi. Suomessa sadeveden pH on n. 5 tai vähemmän ja pohjaveden pH on keskimäärin n. 6,5. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996, s. 80)

Pohjaveden pH-arvoihin vaikuttaa kallioperän tai siitä syntyneen maaperän mineraalikoostumus; emäksisten kivilajien alueella pH-arvot ovat suuremmat kuin happamien kivilajien alueella (Korkka-Niemi ja Salonen 1996, s. 88). Kallio- ja maaperän lisäksi myös esimerkiksi humuskuormitus voi laskea veden pH:ta. Suomen vesissä on luontaista humuskuormitusta ja sen vuoksi vesistöjen pH on yleensä hieman happaman puolella, n. 6,5-6,8 (Oravainen 1999, s. 12).

Veden pH-arvojen tarkkaileminen on hyödyllistä muun muassa pintavesissä elävien kalapopulaatioiden, pohjaeläinten sekä vesikasvien vuoksi. Jotkut lajit eivät selviydy

ollenkaan happamissa vesissä ja esimerkiksi osalle kalalajeista vesien happamuus aiheuttaa haittaa lisääntymiselle. Happamuudelle herkkiä lajeja ovat muun muassa taimen ja simpukat. (Suomen ympäristökeskus 2014) Kun pH-taso on 5,5 alapuolella, esimerkiksi särjen ja lohikalojen lisääntyminen häiriintyy (Oravainen 1999, s. 13).

Alkaliniteetti eli alkaliteetti kuvaa vesiliuoksen kykyä neutralisoida happoja eli sen arvo kertoo emäksisten yhdisteiden kokonaismäärän. Se tarkoittaa siis veden puskurointikykyä eli veden kykyä vastustaa pH:n muutosta, kun veteen lisätään happoa. Suomen pohjavesien alkaliniteetti on yleensä melko alhainen, noin 1,0 mmol/l. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996, s. 80,81) Alkaliniteetti kuvaa myös epäorgaanisen hiilen määrää vedessä, sillä mitä enemmän vedessä on vetykarbonaattia HCO_3^- , sitä suurempi puskurikyky sillä on (Särkkä 1996, s. 58).

Veden pH- ja alkaliniteettiä ovat yhteydessä toisiinsa, sillä mitä pienempi alkaliniteetti on, sitä vähemmän happokuormaa tarvitaan veden happamoittamiseen. Koska pH-arvot voivat satunnaisesti hieman vaihdella, on hyvä seurata myös veden alkaliniteettiä veden pH-arvojen mittauksen yhteydessä, sillä sen arvo vaihtelee vähemmän kuin pH:n. (Oravainen 1999, s. 13-14) Veden pH:ssa voi esiintyä vaihtelua vuorokauden aikana esimerkiksi yhteytyksen voimakkuuden vaihtelun vuoksi, sillä fotosynteesi kuluttaa hiilidioksidia (Särkkä 1996, s.59).

Rauta (Fe) ja mangaani (Mn)

Pohjaveden rautapitoisuuteen vaikuttaa muun muassa maa- ja kallioperän mineraalikoostumus, vallitsevat happi- ja redox-olosuhteet ja mikrobiologinen toiminta. Rautaa on maa- ja kallioperässä yleisesti, ja sitä esiintyy pohjavedessä kahden- tai kolmenarvoisena ionina, joista kolmenarvoinen saostuu helposti. Hyvin vetää johtavissa, karkearakeisissa maalajeissa virtaavan pohjaveden rautapitoisuus on yleensä pienempi kuin hapettomissa tai niukkahappisissa olosuhteissa, kuten tiiviiden maakerrosten alla. Suomen mittapuulla tarkasteltuna suurimmat rauta- ja mangaanipitoisuudet löytyvät Pohjanmaalta sekä rannikolta. Yleensä rautaa ja mangaania esiintyy pohjavedessä samassa suhteessa, ja niiden geokemia onkin samankaltainen. Mangaania esiintyy yleensä puolet vähemmän kuin rautaa. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996, s. 82, 83, 88)

Humuspitoisissa vesissä rautapitoisuus on korkeampi kuin kirkkaissa vesissä, sillä rauta on sitoutunut humusyhdisteisiin. Myös eroosio lisää rautapitoisuuksia, sillä kiintoainekuormituksen mukana tuleva rauta näkyy myös vesianalyyseissä. Tämän takia jokien rautapitoisuudet voivat olla melko korkeita. (Oravainen 1999, s. 21,22)

Hapellisissa oloissa mangaanin pitoisuudet ovat melko pieniä, mutta pohjalietteestä vapautuu mangaania, kun happipitoisuus laskee. Mangaanin vapautumisen määrä riippuu sedimentin laadusta. Raudan ja mangaanin pitoisuus voi nousta myös pohjavesissä, jos ne ovat vähähappisia. (Oravainen 1999, s. 23) Järvien pintavesissä on kesällä rautaa keskimäärin 262 µg/l, ja mangaanin keskipitoisuus Suomen sisävesissä on noin 30 µg/l (Särkkä 1996, s. 62-63).

Väriluku

Veden väri voi johtua muun muassa humuksesta, raudasta ja mangaanista ja se voi osoittaa esimerkiksi suoalueiden ja pintavesien vaikutuksen (Korkka-Niemi ja Salonen 1996, s. 85,88). Väriarvot kuitenkin vaihtelevat sääolojen ja valumien mukaan, sillä jos vettä sataa paljon, nousevat yleensä myös väriluvun arvot, kun taas kuivina kausina värilukujen arvot pienenevät (Oravainen 1999, s. 14).

Väriluvun yksikkö on mgPt/l. Kun vesi on väritöntä, sen väriluku on 5-15 mgPt/l. Kun vesi on lievästi humuspitoinen, on väriluku 20-40 mgPt/l. Vesi on humuspitoinen, kun väriluku on 50-100 mgPt/l. Erittäin humuspitoinen (esim. suovesi) vesi on väriluvun ollessa 100-200 mgPt/l. (Oravainen 1999, s. 14)

COD_{Mn} eli kemiallinen hapenkulutus

COD_{Mn} eli kemiallinen hapenkulutus mittaa kemiallisesti hapettuvien orgaanisten aineiden määrää vedessä, mutta koska kaikki orgaaninen aines ei hapetu, on tulos suhteellinen. COD_{Mn}-mittauksen tuloksilla voidaan kuvata myös veden humusleimaisuutta, sillä sen määrittämisessä myös humusyhdisteet hapettuvat osittain. Vertailun vuoksi: humusvesissä COD_{Mn}-arvo on 10-20 mg O₂/l, kun taas värittömissä vesissä se on 4-10 mg O₂/l. Orgaanisia aineita sisältävät jätevedet, kuten metsätaloudesta tulevat, lisäävät COD_{Mn}-arvoa. (Oravainen 1999, s. 15-16) Orgaanista ainetta voi sisältää humuksen lisäksi jätevesi, plankton tai tripton, mutta kemialliseen

hapenkulutukseen voi vaikuttaa myös pelkistyneiden aineiden hapettuminen (Särkkä 1996, s. 56).

2.6.3 Ihmistoiminnan vaikutus vesien laatuun

Monet ihmistoiminnot vaikuttavat vesiin heikentämällä niiden laatua tai jopa pilaamalla ne. Pohjavesien laatua voivat heikentää esimerkiksi vaarallisia kemikaaleja käyttävät ja valmistavat tehtaat ja kemikaalivarastot, maanteiden suolaus sekä peltojen lannoitus ja torjunta-aineiden käyttö viljelyssä. Myös maa-ainesten ottopaikat voivat vaarantaa pohjaveden laadun. Näistä tulevia haitallisia aineita ovat vesistöjä rehevöittävät ravinteet tai vesistöihin pääsevät vaaralliset kemikaalit. Esimerkiksi maaperän läpäisevyys ja veden virtaussuunta sekä haitallisen aineen liukoisuusominaisuudet vaikuttavat siihen, miten tehokkaasti haitalliset aineet kulkeutuvat pohjavesiin ja vesistöihin. (Britschgi ym. 2018, s. 22)

Ravinteet peltoviljelyssä tulevat pääosin siinä käytettävistä lannoitteista ja ne voivat huuhtoutua valuma- ja suotovesien mukana vesistöihin. Tätä voidaan yrittää estää esimerkiksi täsmälannoituksella ja suoja-alueiden perustamisella peltojen ja reunaojien sekä peltojen ja vesistöjen väliin. Pelloilta tulevien valumavesien ravinnekuormaa ja kiintoainetta voidaan pienentää myös laskeutusaltailla, kosteikoilla ja pintavalutuskentillä. (Nuotio 2008, s. 16, 17)

Myös metsätalous aiheuttaa kuormitusta vesistöihin. Ravinnekuormitukset, jotka ovat suurempia kuin tavallinen luonnonhuuhtouma, aiheutuvat ojituksesta, metsien lannoituksesta, avohakkuista sekä maanpinnan käsittelystä avohakkuiden jälkeen. Ojituksen aiheuttamaan kuormaan voidaan vaikuttaa oikea-aikaisella ja maaperään sopivalla kaivun jaksotuksella sekä selkeytysrakenteilla ja pintavalutuskentillä. Lannoitukset tulisi kohdentaa oikein ja suunnittelella sopiva levitystekniikka ja lannoitusajankohta ja käyttää vain metsätalouteen sopivia lannoitusaineita. (Nuotio 2008, s. 17)

Turvetuotantoalueet lisäävät valumavesien kiintoainekuormaa, humus- ja ravinnekuormaa ja voi lisätä esimerkiksi alumiinin ja raudan pitoisuuksia. Erityisesti turvetuotantoalueen valmisteluvaiheessa tulee paljon kuormitusta. Tässäkin tapauksessa vesistökuormitusta voidaan vähentää esimerkiksi laskeutusaltailla ja

pintavalutuskentillä. Vaativissa kohteissa voidaan käyttää lisäksi valumavesien kemikalointia. (Nuotio 2008, s. 18)

Karjataloudesta eli lihan- ja maidontuotannosta tuleva kuormitus vesistöihin johtuu lannan ja virtsan varastoinnista, käsittelystä ja hyödyntämisestä sekä jätevesistä, joita tulee maitotilojen maitohuoneesta. Keinoja näiden alentamiseen olisi tiiviit lantalat, lannan levittäminen vai sulaan maahan, säilörehun käsittely tiivistetyllä pohjalla sekä jätevesien johtaminen suoraan puhdistamoon tai lietesäiliöön. (Nuotio 2008, s. 18, 19)

Turkistarhauksessa käytettyjen turkiseläinten lannassa on enemmän fosforia ja typpeä kuin karjanlannassa. Turkistarhoilla ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin voidaan yrittää rajoittaa esimerkiksi varjotalojen räystäitä pidentämällä ja räystäskouluilla, sekä lisäämällä kuivikkeita ja käyttämällä tiiviitä juomavesilaitteistoita. Myös tiiviit halliratkaisut ja alustat vähentävät ravinteiden pääsyä tarhojen ympäristöön. Toki tarhojen sijoittaminen riittävän kauaksi vesistöistä sekä pohjavesialueista on suositeltavaa. Lannankäsittelyjärjestelmän sekä muiden jätevesiratkaisujen tulee olla vesitiiviitä. (Nuotio 2008, s. 19)

2.7 Pohjaveden merkitys virtavesien hydrologiaan

Veden korkeus sekä jokien ja purojen virtaamat vaihtelevat Suomessa vuodenaikojen mukaan. Virtaaman suuruuteen vaikuttavia asioita ovat: veden varastoituminen lumipeitteeseen sekä lumen sulaminen, haihdunnan vuodenaikaisvaihtelut, veden varastoituminen maaperään ja vesistöihin sekä sadannan vaihtelu vuodenajan mukaan. Vuodenaikaisvaihtelussa voidaan yleensä havaita kaksi minimiä sekä kaksi maksimia. (Korhonen 2007, s. 17)

Talvella jokien vedenpinta on yleensä matalalla, koska sadanta varastoituu lumena valuma-alueelle eikä muodosta valuntaa. Myös haihdunta suoraan vedestä on pientä talvella. Tämän vuoksi ensimmäinen minimivedenkorkeus sekä -virtaama sijoittuvat yleensä keväälle ennen lumensulantaa. Toinen minimivedenkorkeus ja -virtaama sijoittuu yleensä heinä-elokuulle, koska haihdunta on silloin suurta, vaikka myös sadanta on yleensä silloin suurinta. Vuoden ensimmäinen maksimivedenkorkeus uomissa sijoittuu yleensä keväälle, kun valuma-alueelle varastoitunut lumi sulaa. Toinen maksimi uomien vedenkorkeudessa on yleensä syksyllä, kun ilman suhteellinen

kosteus ja sateet lisääntyvät ja lämpötilan laskiessa haihdunta pienenee. Syksyn maksimivedenkorkeus on kuitenkin yleensä pienempi kuin keväällä. Valuma-alueen laajuus ja runsasjärvisyys voivat vaimentaa virtaaman heilahteluja, mutta jokivesistöissä virtaamahuiput ovat huomattavasti keskivirtaamia suurempia. (Korhonen 2007, s. 17, 18)

Termeillä ylivirtaama (HQ) ja alivirtaama (NQ) kuvataan jokien ja purojen virtaaman suurinta ja pienintä arvoa. Nämä määritellään kullekin vuodelle erikseen, joista voidaan edelleen määrittää keskimääräiset arvot eli keskiylivirtaama (MHQ) ja keskialivirtaama (MNQ). Keskivirtaamalla (MQ) kuvataan puron tai joen virtaamien vuosittaista keskiarvoa. Alivirtaamakaudet vaikuttavat paljon alueen ekosysteemeihin, sillä ne kertovat kuinka paljon vettä vesistöissä on vähimmillään käytettävissä. Alivirtaaman suuruuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa sää, valuma-alueen pinta-ala ja järvisyys. Eteläisessä Suomessa kesäalivirtaama on yleensä pienempi kuin talvialivirtaama. (Korhonen 2007, s. 17, 18) Pohjavesien osuus alivirtaamakauden aikana korostuu, sillä alivirtaamakauden aikana pohjaveden osuus joen virtaamasta voi olla jopa yli 90 prosenttia, jolloin myös pohjaveden laatu vaikuttaa suoraan pintaveteen ja siitä riippuvaisiin ekosysteemeihin (Euroopan komissio 2008, s. 7).

Ilmastonmuutoksen on arvioitu lisäävän veden pinnan korkeuksien vaihtelua vesistöissä, kun kuivat ja sateiset jaksot korostuvat, eli ääri-ilmiöitä esiintyy nykyistä enemmän. Myös tulvien arvioidaan muuttuvan nykyisestä. Ne voivat esiintyä nykyistä epäsäännöllisemmin, kevättulvat heikkenevät ja talvikauden tulvat runsastuvat. Vaikutus tulee todennäköisesti olemaan suurin pienissä vesistöissä, sillä ilmastonmuutoksen aiheuttamat lämpötilanmuutokset vaikuttavat niihin voimakkaammin kuin suurempiin vesistöihin. Kun sateet lisääntyvät, myös valuma-alueilta tuleva pintavalunta ja sen tuoma ravinnekuorma, joka rehevöittää vesistöjä, voi olla suurempaa. (SYKE, 2010)

2.8 Pohjavettä indikoivat merkkiaineet

2.8.1 Veden stabiilit isotoopit

Alkuaineella voi olla useita eri isotooppeja. Tietyn alkuaineen eri isotoopeissa on sama määrä protoneja, mutta eri määrä neutroneja. Tämä tarkoittaa sitä, että alkuaineen eri isotoopit ovat kemiallisilta ominaisuuksiltaan samanlaisia, mutta niiden massat eroavat

toisistaan neutronien määrän vuoksi. Tavallisimpia tutkimuksissa käytettyjä ympäristön merkkiaineita ovat veden isotoot $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ja $^2\text{H}/^1\text{H}$ sekä veteen liuenneiden ainesosien kuten epäorgaanisen hiilen $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ tai nitraatin $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ isotoppiarvot (Leibundgut ym. 2009, s. 13).

Kun mitataan pohjaveden stabiilien isotooppien ^{18}O ja ^2H koostumuksia, vastaavat ne yleensä alueen sadannan painotettua keskiarvoa. Tämä ei kuitenkaan aina pidä paikkaansa, sillä pohjavettä esimerkiksi muodostuu eniten tiettyinä vuodenaikoina, jolloin pohjaveden isotooppikoostumus kuvaa enemmän näiden vuodenaikojen sateiden isotooppikoostumusta. Myös isotooppien suhteellinen osuus saattaa muuttua eli isotooppi voi fraktioitua esimerkiksi haihtumisen tai diffuusion kautta. Pinta- ja pohjavesien suhteita voidaan kuitenkin tutkia käyttämällä veden stabiileja isotooppeja merkkiaineena, sillä pinta- ja pohjaveden isotooppikoostumukset eroavat usein riittävästi toisistaan. (Isokangas 2013, s. 15, 25, 27)

Veden isotooppien ^{18}O ja ^2H suhteet ilmaistaan nykyään suhteessa kansainväliseen referenssistandardiin VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water), ja isotooppiarvot esitellään niin kutsuttuina delta-arvoina suhteessa tähän standardiin. Määritettäessä delta-arvoa, käytetään alkuaineen kahden yleisimmän isotoopin suhdetta. Isotoopin ^{18}O määrittämiseen käytetään isotooppien ^{18}O ja ^{16}O suhdetta (yhtälö 2), ja isotoopin ^2H määrittämiseen käytetään isotooppien ^2H ja ^1H suhdetta (yhtälö 3). (Clark & Fritz 1997, s. 6-7)

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{näyte}} = \left(\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{näyte}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{VSMOW}}} - 1 \right) * 1000\text{‰ VSMOW} \quad (2)$$

$$\delta^2\text{H}_{\text{näyte}} = \left(\frac{(^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{näyte}}}{(^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{VSMOW}}} - 1 \right) * 1000\text{‰ VSMOW} \quad (3)$$

Isotooppidatan tulkinnan apuna voidaan käyttää GMWL-suoraa (global meteoric water line). Meteoriset vedet ovat ilmakehässä olevia tai sieltä sateena maahan kulkeutuneita vesiä. Isotooppihydrologiassa käytetään yleensä termiä ”meteoric” eli meteorinen termin ”meteorological” eli meteorologinen sijaan, vaikka ne tässä tapauksessa tarkoittavat samaa asiaa. GMWL-suora kuvaa isotooppien ^{18}O ja ^2H välillä vallitsevaa suhdetta. Alkuperäinen Harmon Craigin vuonna 1961 julkaisema yhtälö (yhtälö 4)

ilmaistiin suhteessa SMOW-standardiin (Standard Mean Ocean water) ja se on keskiarvo useista paikallisista meteoristen vesien suorista eli LMWL-suorista (local meteoric water line). Paikalliset LMWL-suorat eroavat toisistaan vaihtelevien ilmastollisten ja maantieteellisten parametrien vuoksi. Kun kansainvälinen referenssistandardi VSMOW oli julkaistu, tarkennettiin GMWL-suoraa sen suhteen (yhtälö 5). (Clark & Fritz 1997, s. 36)

$$\delta^2H = 8 \delta^{18}O + 10\text{‰ SMOW} \quad (4)$$

$$\delta^2H = 8,13 \delta^{18}O + 10,8\text{‰ VSMOW} \quad (5)$$

Kortelainen ja Karhu määrittivät vuonna 2004 julkaistussa tutkimuksessaan Suomen pohjavesille pohjavesisuoran, joka perustuu referenssistandardiin VSMOW (yhtälö 6) (Kortelainen & Karhu 2004).

$$\delta^2H = 8,51 \delta^{18}O + 16,65 \quad (6)$$

Kyllönen määrittä vuonna 2018 julkaistussa opinnäytetyössään Suomelle LMWL-suoran eri puolilta maata otettujen näytteiden perusteella (yhtälö 7) (Kyllönen 2018, s. 41-42).

$$\delta^2H = 7,78 \delta^{18}O + 6,83 \quad (7)$$

Tarkasteltaessa isotooppidataa voidaan olettaa, että vesinäytteet, jotka asettuvat meteoriselle suoralle, ovat peräisin ilmakehästä, eivätkä muut isotooppiprosessit ole vaikuttaneet niihin, eli näytteet eivät ole fraktioituneet. Näin ollen pohjaveden isotooppiarvot sijoittuvat yleensä paikalliselle LMWL-suoralle, sillä sadeveden isotooppikoostumus muuttuu yleensä vain vähän sen imeytyessä pohjavedeksi. Jos esimerkiksi haihduntaa tapahtuu, isotoopit rikastuvat raskaampien isotooppien suhteen niin, että ^{18}O rikastuu suhteessa enemmän kuin ^2H . Tämä tarkoittaa sitä, että isotoopin ^{18}O arvo kasvaa suhteessa enemmän kuin isotoopin ^2H arvo. Näin ollen fraktioituneet näytteet pienentävät suoran kulmakerrointa, jos ne otetaan huomioon suoran muodostamisessa. (Isokangas 2013, s. 20-21)

2.8.2 Muita merkkiaineita

Piidioksidin (SiO_2) käyttö pohjavesi-indikaattorina perustuu siihen, että vedessä oleva piidioksidipitoisuus kohoaa, kun vesi virtaa maaperässä ja piidioksidi sitoutuu siihen. Sadeveden piidioksidipitoisuus on nolla. Näin ollen on yleensä niin, että mitä pidempään vesi on maaperässä viipynyt, sitä suurempi sen piidioksidipitoisuus on. Pohjavedellä on siis yleensä suurempi piidioksidipitoisuus kuin maa- tai pintavedellä, sillä sen viipymä maaperässä on yleensä pidempi. (Leibundgut ym. 2009, s.334, 335)

Myös veden lämpötilaa voidaan käyttää merkkiaineena tutkittaessa sitä, onko vesi peräisin pohja- vai pintavesivalunnasta. Alueen ilmasto-olosuhteet vaikuttavat pohjaveden lämpötilaan, ja ilman ja pohjaveden keskilämpötilat ovat hyvin lähellä toisiaan. Pohjaveden lämpötilan vuodenaikaisvaihtelu on kuitenkin hieman ilman lämpötilavaihtelua jäljessä, paitsi kevätsulannan aikaan, joka vaikuttaa pohjaveden lämpötilaan nopeasti. Yleensä pohjaveden lämpötila Suomen maa- ja kallioakvifereissa on välillä $+2 - +11$ °C. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996, s. 93,96) Joen virtaaman mittauksia voidaan myös käyttää apuna tutkittaessa uomaan purkautuvien pohjavesien määrää, sillä virtaama kasvaa, kun pohjavesiä purkautuu jokeen. Virtaama kasvaa myös, kun pintavedet ja muut maavedet laskevat jokeen ja pienenee, kun vettä imeytyy takaisin maaperään, joten virtaamasta ei voida kuitenkaan suoraan päätellä purkautuvan pohjaveden määrää.

2.9 Pohjavesistä riippuvaisten lajien suojelu

Pohjavesistä riippuvalaiset lajit voivat viihtyä pohjavesien tarjoamissa olosuhteissa esimerkiksi sen vuoksi, että pohjavesi on yleensä kesälläkin viileää. Myös tasainen virtaama on pohjavesille tyypillistä, jonka vuoksi niiden ympäristössä elää lajeja, jotka eivät kestä ympäristön kuivumista. Pohjavedenpinnan aleneminen ja pohjaveden purkautumisen väheneminen esimerkiksi liiallisen pohjavedenoton vuoksi voi uhata näihin vakaisiin elinolosuhteisiin sopeutuneita lajeja. (Ilmonen 2013, s. 23) Pohjavesi on Suomessa usein myös hyvälaatuista (GTK 2020). Pohjavesien tarjoamista olosuhteista riippuvaisia lajeja ovat muun muassa jokihelmisimpukka ja meritaimen, jotka ovat myös uhanalaisuutensa vuoksi laissa suojeltuja.

2.9.1 Jokihelmissimpukka

Jokihelmissimpukoita eli raakkuja elää ainoastaan pohjoisen pallonpuoliskon virtavesissä, jotka laskevat Atlantin valtamereseen. Niitä elää Pohjois-Amerikan itärannikolta Länsi- ja Pohjois-Eurooppaan. Suomessa jokihelmissimpukoiden määrä on huomattavasti vähentynyt. Vielä 1900-luvun alussa Suomessa oli 200 jokea, joissa jokihelmissimpukka lisääntyi, kun nyt jokia on enää noin 90. (Leppänen ym. 2018, s. 7) Jokihelmissimpukat ovat vähentyneet myös muualla Euroopassa viimeisen sadan vuoden aikana jopa 95 prosenttia ja niiden lisääntyminen on joissain populaatioissa lähes kokonaan loppunut (Salonen 2016, s. 34). Kansainvälisen luonnonsuojeluliiton IUCN:n listauksessa jokihelmissimpukka on määritelty erittäin uhanalaiseksi vuodesta 1996 lähtien. Suomessa se on suojeltu luonnonsuojelulain nojalla vuonna 1955, jolloin kiellettiin myös jokihelmissimpukoiden helmenkalastus (Leppänen ym. 2018, s. 7).

Jokihelmissimpukka voi elää jopa yli 200-vuotiaaksi. Sillä on kuitenkin monivaiheinen elinkierto ja varsinkin alkuvaiheet ovat kriittisiä simpukan selviämisen kannalta ja vain noin 5 % simpukoista selviytyy ensimmäisestä elinvuodestaan. Jokihelmissimpukka lisääntyy loppukesällä, kun koirassimpukat vapauttavat siittiöt veteen ja ne kulkeutuvat virran mukana naarassimpukan kiduksille. Naarassimpukat vapauttavat hedelmöittyneet glokidium-toukat veteen noin kuukauden kuluttua. Glokidium-toukkavaiheessa olevien simpukoiden tulee löytää isäntäkala, nykytietämykseen mukaan lohi tai taimen, jonka kiduksiin tarttuneena ne elävät loisena 9-11 kuukautta, jonka jälkeen ne irrottautuvat isäntäkalastaan joen pohjalle ja kaivautuvat pohjasoraan. Simpukka elää pohjasoraan kaivautuneena muutaman ensimmäisen vuotensa, jonka jälkeen ne kaivautuvat ylös pohjasorasta ja alkavat suodattaa ravintoa vedestä. Simpukat ovat lisääntymiskykyisiä noin 15-20 vuoden ikäisinä ja niiden keskimääräinen elinikä on 120 vuotta. (Leppänen ym. 2018, s. 8)

Jotta jokihelmissimpukka selviää, on sillä tiettyjä vaatimuksia pohjaolosuhteiden sekä vedenlaadun suhteen (Taulukko 1). Myös glokidium-vaiheeseen tarvittavia isäntäkaloja täytyy olla tarpeeksi. Veden tulee olla tarpeeksi kylmää ja vähäravinteista ja vedenlaadun tasaista, jota voi siis tukea esimerkiksi hyvälaatuinen pohjavesivirtaus. Virtausnopeuden tulee olla kohtalainen, jotta pohja-aines pysyy puhtaana, mutta tarpeeksi verkkainen, jotta virta ei vie simpukoita mukanaan alavirtaan. Paras pohjanlaatu on sellainen, jossa on isompia kiviä sekä hiekkaa ja soraa. Kun poikaset irrottautuvat isäntäkalasta, ne hautautuvat pohjasoraan, ja jos joen pohja on liettynyt, ne

eivät saa ravintoa ja kuolevat (Jensen 2018). Vedenkorkeuden tulisi olla suhteellisen matala, mutta kuitenkin sellainen, ettei esimerkiksi jää aiheuta simpukoille haittoja. Koska simpukat ovat riippuvaisia isäntäkaloista, myös isäntäkalojen ympäristövaatimukset vaikuttavat olennaisesti jokihelmsimpukoiden menestymiseen. (Leppänen ym. 2018, s. 8, 9)

Taulukko 1. Joitain jokihelmsimpukan elinympäristöltään vaatimia olosuhteita (mukaillen Degerman ym. 2009, s.16).

Parametri	Jokihelmsimpukan sietämä raja-arvo
Kokonaisfosfori	< 5-15 µg/l
Veden väriluku	< 80 mg Pt/l
Veden lämpötila	< 25 °C
pH	≥ 6,2
Isäntäkalojen poikasten määrä	≥ 5 kpl/100 m ² kesällä

Jokihelmsimpukoiden vähentymiseen johtaneita syitä ovat tietävästi suurimmalta osin ihmisen vaikutukset vesistöihin. Esimerkiksi jokien ruoppaaminen ja perkaaminen tukinuittoa varten on vaikuttanut jokihelmsimpukoiden elinalueisiin sekä jo itsessään tappanut niitä. Jokiin joutuneet päästöt ja ravinteet ovat myös huonontaneet jokihelmsimpukoiden elinympäristöä ja näin ollen varsinkin nuoret simpukat ovat kärsineet, sillä ne viihtyvät vain puhtasvetisissä paikoissa ja vaativat sitä elääkseen. Myös ennen vuotta 1955 Suomessa vielä sallittu helmenpyynti on pienentänyt jokihelmsimpukakantoja. Jokien patoamiset ovat välillisesti vaikuttaneet raakkuihin, sillä jokihelmsimpukat tarvitsevat poikasvaiheessa isäntäkaloihin lohikaloja ja padot ovat vaikuttaneet kalojen alueelliseen liikkumiseen. Lohi- ja taimenkannat ovat myös vähentyneet. (Salonen 2016, s. 34)

2.9.2 Meritaimen

Taimen voidaan elinympäristön sekä vaelluskäyttäytymisen perusteella jakaa kolmeen eri ekologiseen muotoon, joita ovat meritaimen, järvitaimen sekä purotaimen. Samassa populaatiossa voi kuitenkin elää vaeltavia sekä vaeltamattomia yksilöitä, joten eri ekologisten muotojen välille ei voida vetää tarkkaa rajaa vaelluskäyttäytymisen perusteella. Pohjanlahden alkuperäisiä, luontaisesti lisääntyviä meritaimenkantoja on jäljellä enää kolme, jotka nekin ovat uhanalaisia; Tornionjoen, Lestijoen sekä Isojoen

kannat. Näiden luonnonkantajojen luontainen vaelluspoikastuotanto on nykyään alle 10% jokien alkuperäisestä tuotannosta. Sen vuoksi, jotta vaelluspoikastuotanto lisääntyisi, näitä meritaimenkantoja käytetään myös istutuksissa kunkin joen läheiselle rannikko-osalle sekä tehdään tuki-istutuksia. Itämeren pääaltaan alueella meritaimenkantoja on enemmän, mutta niiden virtavesistä suurin osa on pieniä. (Kallio-Nyberg ym. 2002, s. 3, 9)

Kuten raakun, myös meritaimenten vähenemisen suurin syy on ihmisten toiminta ja sen aiheuttamat muutokset jokiympäristöön. Vaellusesteiden, kuten voimalaitosten patojen, lisäksi tällaisia toimia ovat esimerkiksi perkaukset, ojitukset sekä maa- ja metsätalouden hajakuormitus. Lisäksi kalastus etenkin merialueella on pienentänyt taimenkantoja. (Kallio-Nyberg ym. 2002, s. 6) Taimen viihtyy viileässä, hapekkaassa sekä puhtaassa vedessä, joten myös vedenlaadulla on suuri vaikutus niiden esiintymiseen ja lisääntymiseen (Leppänen ym. 2018, s. 9).

3 LAPVÄÄRTIN-ISOJOKI

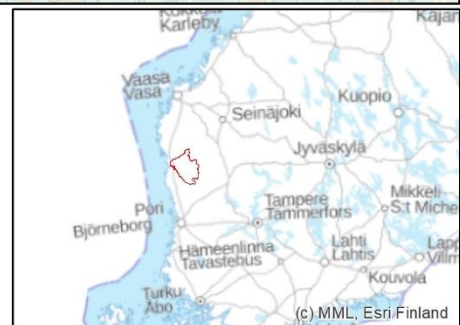
3.1 Lapväärtinjoen vesistöalue

Lapväärtin-Isojoki sijaitsee Etelä-Pohjanmaan, Pohjanmaan sekä Satakunnan maakuntien alueella. Se virtaa kuuden kunnan alueella, joita ovat Isojoki, Karijoki, Kristiinankaupunki, Kauhajoki, Honkajoki sekä Teuva (Kuva 1). Lapväärtin-Isojoen pääuomaa kutsutaan joen yläjuoksulla Isojoen kunnan alueella Isojoeksi ja alajuoksulla Kristiinankaupungin alueella Lapväärtinjoeksi. Sen suurimmat sivu-uomat ovat Karijoki, Kärjenjoki sekä Heikkilänjoki. Lapväärtin-Isojoen valuma-alueen pinta-ala on 1098 km² ja joen pituus 75 kilometriä (Haldin ym. 2016, s. 11). Alkunsä joki saa lähteistä, jotka sijaitsevat Lauhanvuoren kansallispuistossa ja laskee Selkämereen (Nuotio 2008, s. 46).

Valuma-alueeltaan Lapväärtin-Isojoki sijaitsee Lapväärtinjoen päävesistöalueella, jonka vesistöaluetunnus on 37. Tämä 1. jakovaiheen valuma-alue on jaettu kuuteen 2. jakovaiheen valuma-alueeseen: Karijoen valuma-alue, Lapväärtinjoen alaosan alue, Heikkilänjoen valuma-alue, Lapväärtinjoen keskiosan alue, Kärjenjoen valuma-alue sekä Isojoen valuma-alue. Kolmannen jakovaiheen valuma-alueita päävesistön alueella on yhteensä 28.

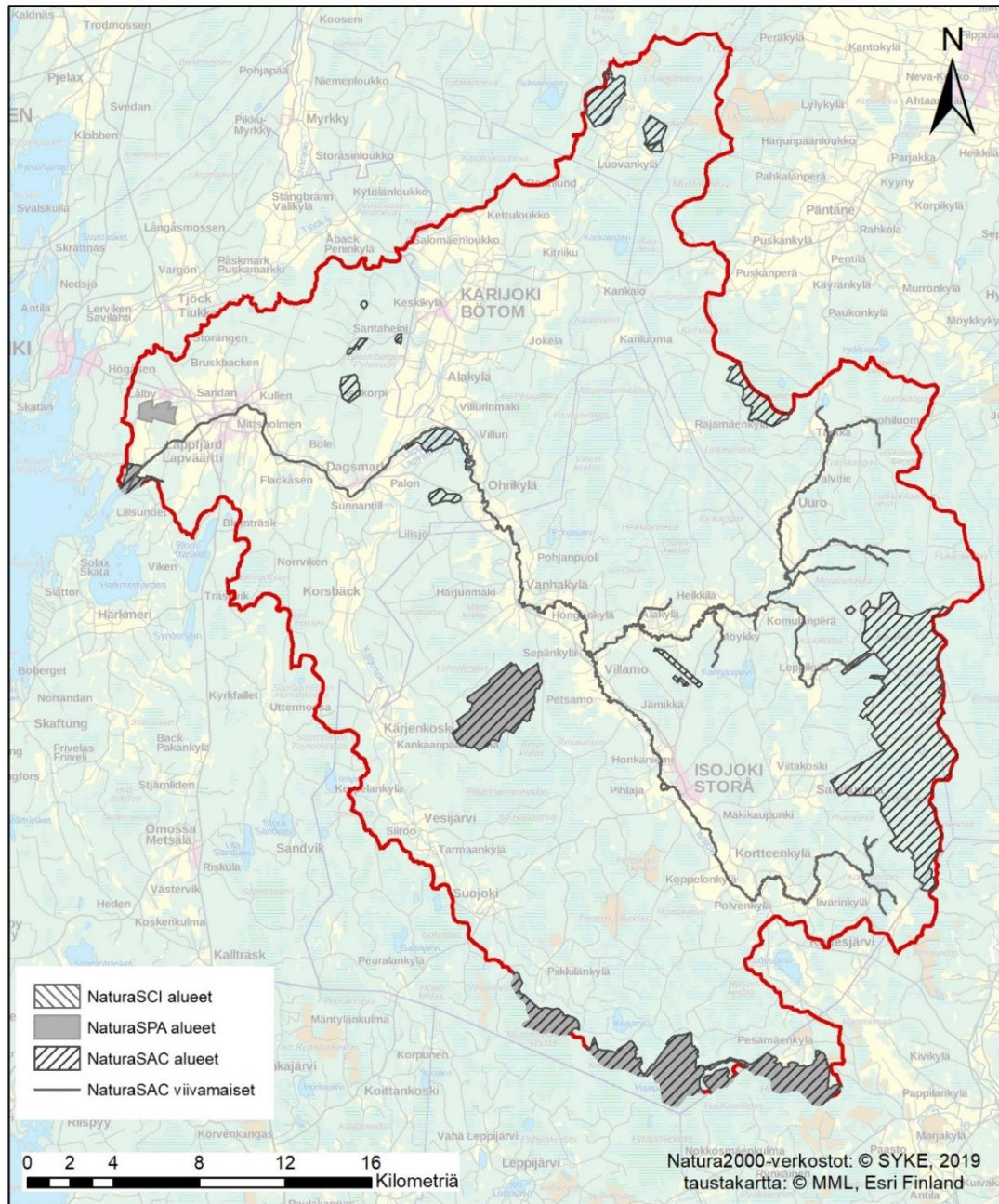


- Purkupisteet
- uomaverkosto
- Valuma-alueet (1.jakovaihe)
- Valuma-alueet (2.jakovaihe)
- Valuma-alueet (3.jakovaihe)
- Kunnat



Kuva 1. Lapväärtinjoen vesistön valuma-alueet, valuma-alueiden purkupisteet, Lapväärtin- Isojoen uomaverkosto sekä vesistöalueella sijaitsevat kunnat.

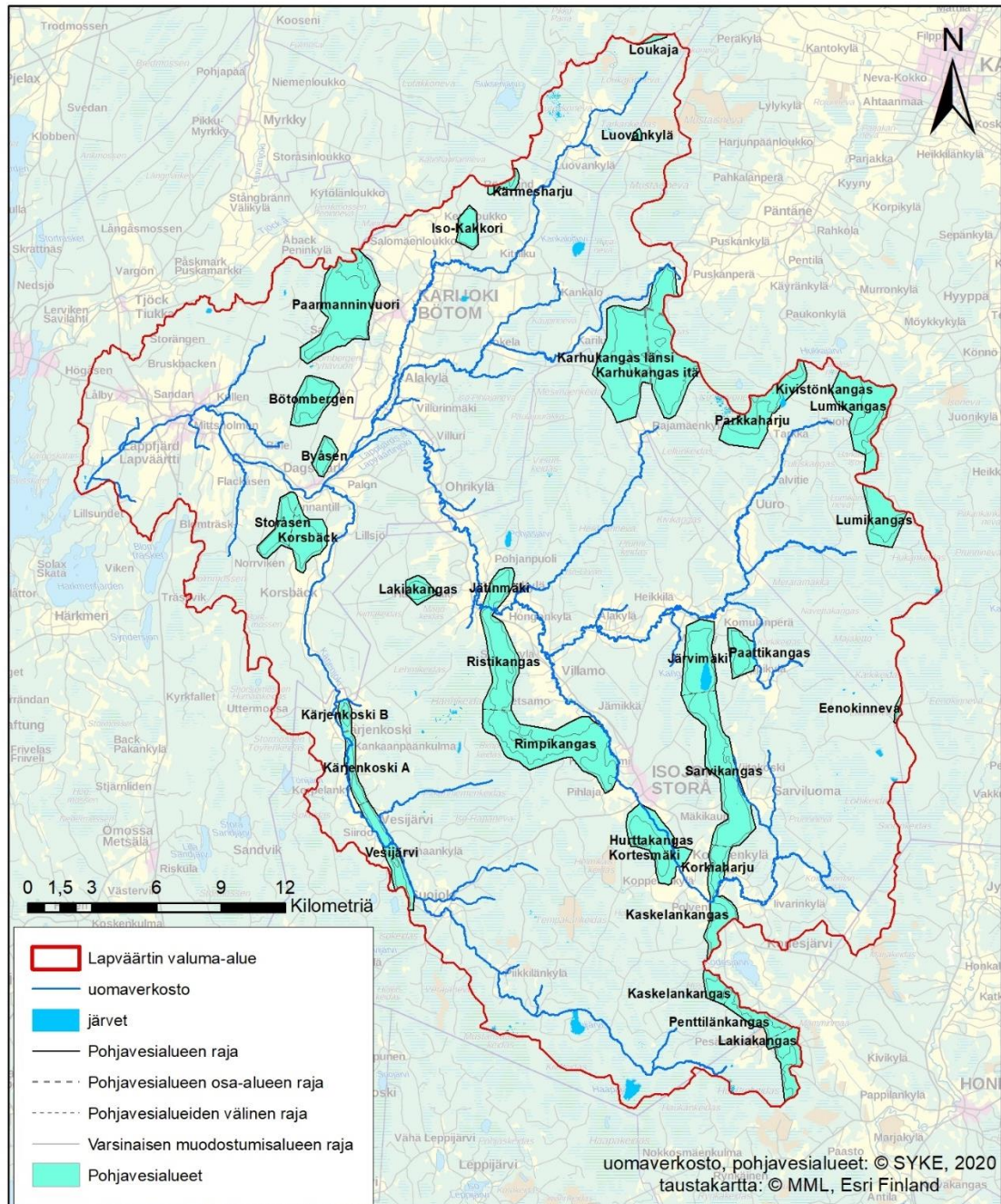
Vesistöalueella sijaitsee useita Natura 2000 –verkostoon kuuluvia alueita (Kuva 2). Vesistöalueella sijaitsevien aluemaisten suojelukohteiden lisäksi myös Lapväärtin-Isojoen jokialue kuuluu Natura 2000 -verkostoon siellä elävien meritaimen- ja jokihelmisimpukkakantojen vuoksi. Joessa elävä meritaimenkanta on yksi viidestä jäljellä olevasta alkuperäisestä ja luontaisesti lisääntyvästä meritaimenkannasta Suomessa, jonka vuoksi Lapväärtin-Isojoki kuuluu lisäksi UNESCO:n hyväksymiin Project Aqua –vesistönsuojelukohteisiin. (Nuotio 2008, s. 51)



Kuva 2. Lapväärtinjoen valuma-alueella olevat, Natura 2000 –verkostoon kuuluvat kohteet.

3.2 Lapväärtinjoen vesistöalueen pohjavesialueet ja niiden luokittelu

Lapväärtinjoen vesistöalueelle sijoittuu 30 luokiteltua pohjavesialuetta kokonaan tai osittain (tilanne tammikuussa 2020) (Kuva 3 ja Taulukko 2). Pohjavesialueet muodostavat noin 11% valuma-alueen pinta-alasta. Pohjavesialueiden varsinaisten muodostumisalueiden pinta-alaosuus on jonkin verran tätä pienempi, sillä pohjavesialueiden reunavyöhykkeillä pohjaveden muodostuminen on vähäisempää.



Kuva 3. Uuden luokituksen mukaan luokitellut pohjavesialueet, uomaverkosto ja järvet Lapväärtin vesistöalueella. Pistemäisiä pohjavesialueita ei ole otettu huomioon.

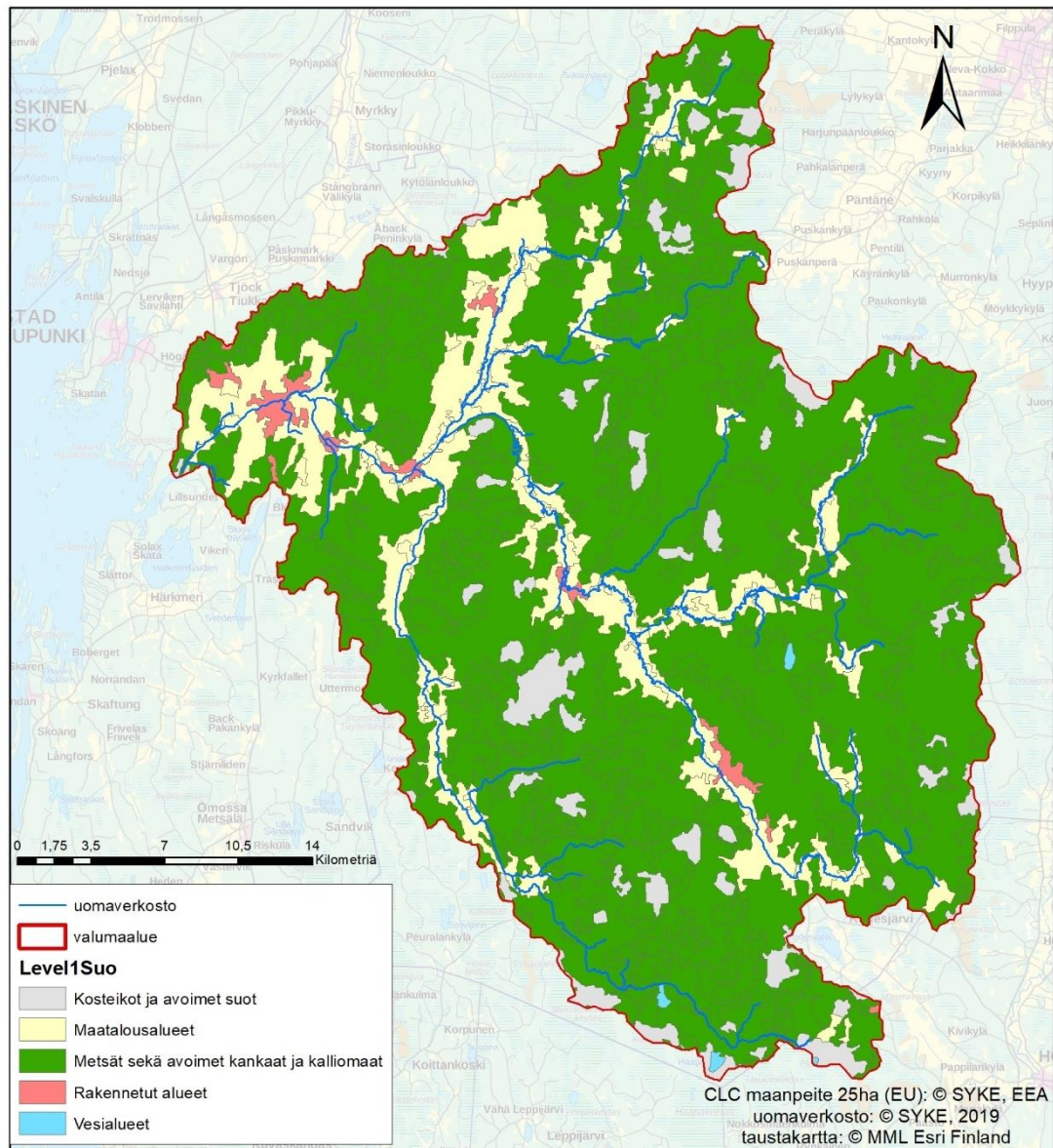
Taulukko 2. Lapväärtin vesistöalueella sijaitsevat luokitellut pohjavesialueet ja niiden luokat (tilanne 22.1.2020).

Numero/ tunnus	Nimi	Alue- luokka	Vanha alueluokka	Alueen määrällinen tila (EU)	Alueen kemiallinen tila (EU)	Pääsijaintikunta	ELYy	Kokonaispinta- ala [km ²]	Muodostumis- alueen pinta- ala [km ²]	Arvio muodostuvan pohjav. määrästä [m ³ /d]
1015105	Hurttakangas	1	I	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	4,84	2,1	1500
1015112	Järvimäki	2E	Järvimäki A: I Järvimäki B: II	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	4,7	3,2	800
1015115	Jätinmäki	2E	II	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	1,7	0,95	300
1015106	Kaskelankangas	2	Kaskelankangas A: II Kaskelankangas B: II	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	6	3,94	1700
1015108	Korkiaharju	2	II	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	1,73	1,02	500
1015116	Kortesmäki	2	I	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	0,53		100
1015151 A	Kärjenkoski A	1	I	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	1,6	0,71	400
1015151 B	Kärjenkoski B	2	II	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	0,78	0,33	100
1015103	Lakiakangas	2	I	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	1,23	0,66	300
1015110	Paattikangas	2E	II	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	2,21	1,23	700
1015102	Rimpikangas	1	Rimpikangas A: I Rimpikangas B: II	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	11,85	6,08	3500
1015104	Ristikangas	1E	Ristikangas A: I Ristikangas B: II	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	5,41	3,33	1800
1015101	Sarvikangas	2	Sarvikangas A: II Sarvikangas B: II	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	9,02	5,82	3000
1015113	Vesijärvi	2	II	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	3,2	1,7	500
1021806	Iso-Kakkori	1	I	Hyvä	Hyvä	Karjajoki	EPOy	1,53	1,15	200
1021805	Kärmesharju	1	I	Hyvä	Hyvä	Karjajoki	EPOy	0,95	0,29	100
1023251	Karhukangas länsi	1E	Karhukangas IIA: I	Hyvä	Hyvä	Kauhajoki	EPOy	10	6,38	2000
Numero/	Nimi	Alue-	Vanha alueluokka	Alueen	Alueen	Pääsijaintikunta	ELYy	Kokonaispinta-	Muodostumis-	Arvio

tunnus		luokka		määrällinen tila (EU)	kemiallinen tila (EU)			ala [km ²]	alueen pinta- ala [km ²]	muodostuvan pohjav. määrästä [m ³ /d]
1084651	Luovankylä	1	I	Hyvä	Hyvä	Kauhajoki	EPOy	0,18		30
1023205	Parkkaharju	2	Karhukangas I: I	Hyvä	Hyvä	Kauhajoki	EPOy	7,46	2,82	1800
1028705	Byåsen	1	I	Hyvä	Hyvä	Kristiinankaupunki	EPOy	1,3	0,75	250
1028704	Bötombergen	1	I	Hyvä	Hyvä	Kristiinankaupunki	EPOy	3,35	1,97	600
1028703	Korsbäck	1	I	Hyvä	Hyvä	Kristiinankaupunki	EPOy	3,36	2,04	1800
1028751	Paarmanninvuori	1	I	Hyvä	Hyvä	Kristiinankaupunki	EPOy	10,52	6,75	3000
1028706	Storåsen	1	I	Hyvä	Hyvä	Kristiinankaupunki	EPOy	2,6	1,66	500
0209911	Lakiakangas	E	ei luokituksessa	Hyvä	Hyvä	Honkajoki	VARy	9,1	6,77	4700
1015118	Penttilänkangas	2	II	Hyvä	Hyvä	Isojoki	EPOy	5,02	3,16	1800
1023211	Eenokinneva	1E	I	Hyvä	Hyvä	Kauhajoki	EPOy	3,86	2,23	1000
1023233	Karhukangas itä	2	Karhukangas IIB: II Karhukangas IIC: II	Hyvä	Hyvä	Kauhajoki	EPOy	13,84	8,06	2300
1023204	Kivistönkangas	1E	I	Hyvä	Hyvä	Kauhajoki	EPOy	3,86	1,59	800
1023202	Lumikangas	1E	I	Hyvä	Hyvä	Kauhajoki	EPOy	34,04	11,47	9000

3.3 Maankäyttö vesistöalueella

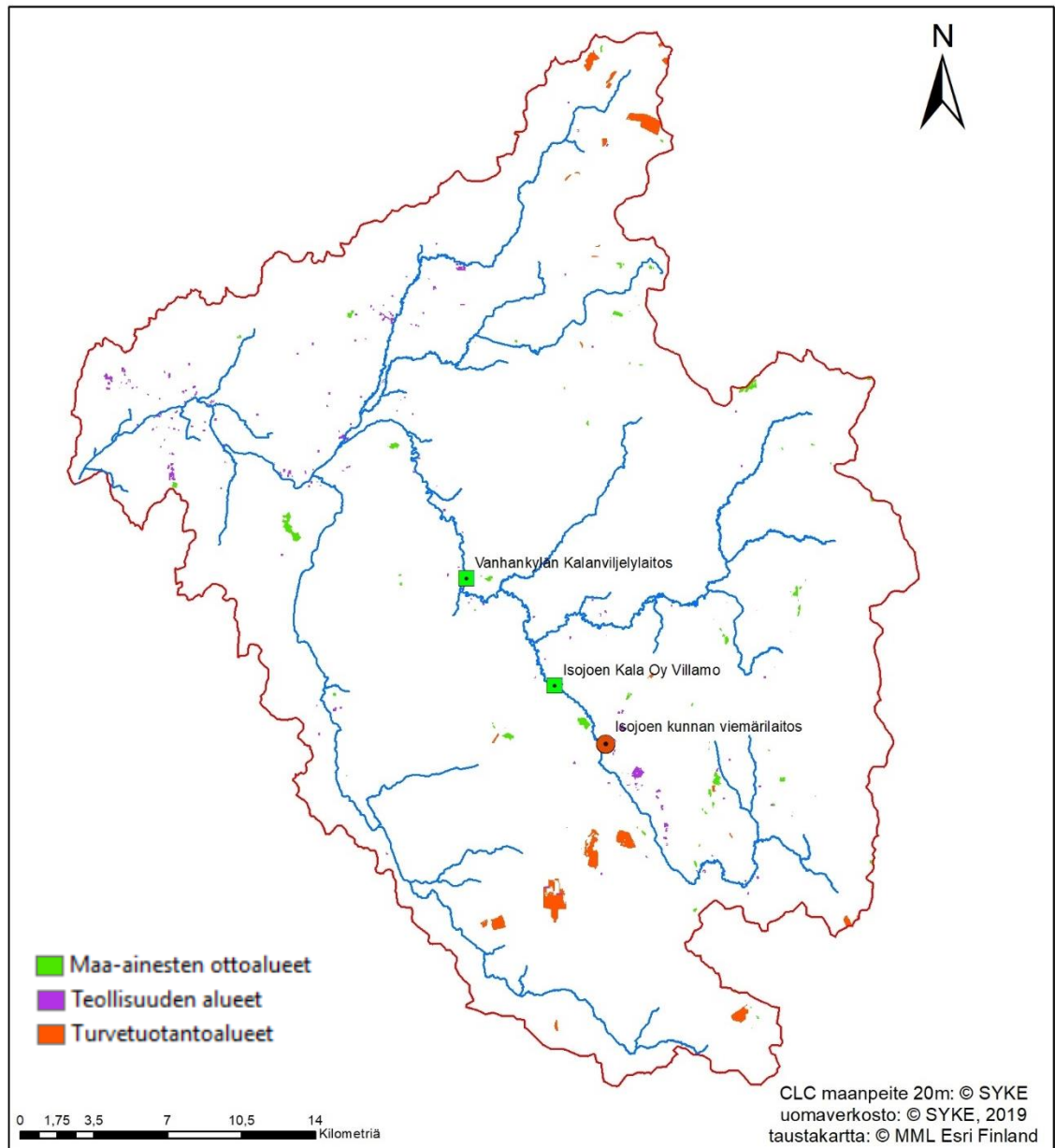
Lapväärtinjoen vesistöalueen järvisyysprosentti on 0,2% ja sen suurin järvi on Kangasjärvi, jonka pinta-ala on 48 hehtaaria. Metsää valuma-alueesta on 53%, suota 31% ja peltoa 15% (Nuotio 2008, s. 46, 47). Corine 2018 25ha (EU) -aineiston mukaan kosteikkojen ja avointen soiden osuus valuma-alueesta on 5,1%, maatalousalueiden 15,7% ja metsien sekä avointen kankaiden ja kalliomaiden 78% (Kuva 4). Rakennettuja alueita valuma-alueesta on 1,1% ja vesialueita 0,1%.



Kuva 4. Maanpeite Lapväärtinjoen päävesistöalueella.

Etelä-Pohjanmaalla suuri osa vesistöihin pääsevistä ravinnekuormista on peräisin pelloilta. Peltotuotannon lisäksi karjataloudesta peräisin olevien päästöjen kuten lannan ja virtsan sekä muun siitä aiheutuvan jäteveden pääsy pinta- ja pohjavesiin ovat ongelma vesistöjen ravinnekuorman kannalta. Metsätalouden ja turvetuotantoalueiden ravinnekuormitukset ja kiintoainekuorma ovat myös suurimpia vesistöjen kuormittajia tällä alueella. Perinteisen karjatalouden lisäksi Etelä-Pohjanmaalla harjoitetaan myös turkistarhausta, jonka fosfori ja typpikuorma ovat jopa suurempaa kuin karjataloudesta tuleva. (Nuotio 2008, s. 16-19) Lapväärtinjoen vesistöalueella ei kuitenkaan ole turkistarhausta tällä hetkellä.

Yksittäisiä pistekuormittajia Lapväärtinjoen vesistöalueella ovat muun muassa teollisuuden alueet, maanottoalueet, turvetuotantoalueet sekä jätevedenpuhdistamot ja kalankasvatustilat (Kuva 5). Kalankasvatustiloksista Villamossa sijaitseva Isojoen Kala Oy on tosin lopettanut kalanviljelytoimintansa vuonna 2016 ja kalanviljelytoiminnan ympäristölupa on rauennut vuonna 2017. Isojoen jätevedenpuhdistamo sijaitsee Isojoen kirkonkylällä.



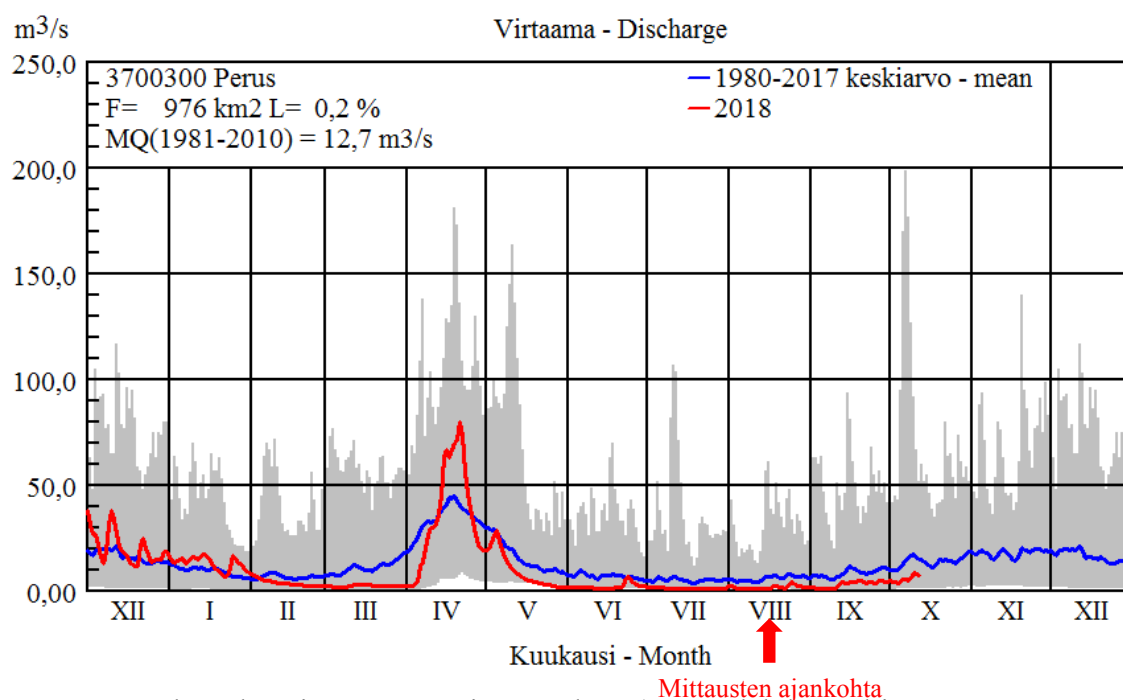
Kuva 5. Pistekuormittajia Lapväärtin vesistöalueella.

3.4 Lapväärtin-Isojoen vedenlaatu ja virtaama

Koska Lapväärtin-Isojoki virtaa usean pohjavesialueen alueella, ovat sen vedenlaatu ja virtaamat kohtalaisen tasaisia verrattuna esimerkiksi muihin virtavesistöihin Länsi-Suomen alueella. Lapväärtin-Isojoen vedenlaatu on kuitenkin viime vuosikymmeninä heikentynyt ja sen suurimpia ongelmia ovat rehevyys, ajoittainen happamuus ja paikoittaiset suuret kiintoainepitoisuudet. (Nuotio 2008, s. 47)

Lapväärtin-Isojoen virtaamaa ja vedenkorkeutta mitataan jatkuvatoimisesti valtakunnalliseen havaintoverkkoon kuuluvalla Peruksen havaintoasemalla (tunnus 3700300). Se sijaitsee Lapväärtin-Isojoen alaosassa, Peruksessa (Kuva 7).

Havaintoasemalta on saatavissa virtaamadataa vuodesta 1980 saakka. Havaintoasemalla suurin havaittu ylivirtaama (HQ) on mitattu 7.10.2012 ja se on ollut $195 \text{ m}^3/\text{s}$. Ylivirtaamien keskiarvo (MHQ) vuosina 1980-2018 on ollut $98,60 \text{ m}^3/\text{s}$. Havaintokauden pienin alivirtaama on mitattu 10.8.2006, jolloin se on ollut $1,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Alivirtaamien keskiarvo (MNQ) on ollut vuosina 1980-2018 $1,72 \text{ m}^3/\text{s}$. (Valtion ympäristöhallinto, 2019). Vuoden 2018 virtaamat olivat alivirtaamakaudella ja tämän diplomityön kenttämittausten aikana vuosien 1980-2017 keskiarvoon verrattuna keskimääräistä pienempiä (Kuva 6).



Kuva 6. Peruksen havaintoaseman virtaamadata. (Kuvan lähde: Valtion ympäristöhallinnon HYDRO- tietokanta)

3.5 Jokeen kohdistuvia toimenpiteitä ja muutoksia

Lapväärtin-Isojoen valuma-alue kuuluu Freshabit LIFE IP –hankkeeseen, joka alkoi vuoden 2016 alussa ja päättyy vuonna 2022. Hankkeen kokonaistavoitteena on parantaa Natura 2000 –vesistöalueiden ekologista tilaa ja monimuotoisuutta. Hankkeeseen kuuluu 8 kohdealuetta, joilla sijaitsee yhteensä 4 järvaluetta, 2 sisämaan vesireittiä sekä 6 rannikkojokea. Hanketta koordinoi Metsähallituksen Luontopalvelut ja mukana on 31 kumppania sekä 10 osarahoittajaa. (Metsähallitus, 2016) Lapväärtin-Isojoki kuuluu Pohjanmaan joet –kohdealueeseen, johon kuuluu lisäksi Ähtävänjoki sekä Karvianjoen latvat (Metsähallitus, 2018).

Freshabit-hankkeeseen kuuluu useita toimenpiteitä. Yhtenä toimenpiteenä on Metsäkeskuksen pyrkimys vähentää metsätalouden aiheuttaman ravinne- ja kiintoainekulkeumien pääsyä vesistöihin. Tavoitteen saavuttamiseksi Metsäkeskus tekee maastokartoituksia purovaluma-alueille, joilla on eniten metsätalousmaata. Tavoitteena on tehdä suunnitelma vesiensuojelurakenteista sekä kunnostustoimenpiteistä, jotka toteutetaan Kemera-rahoituksella. Toinen Metsäkeskuksen Freshabit-hanke on koko Isojoen vesistöalueelle tehtävä vesiensuojelusuunnitelma. (Suomen metsäkeskus, 2016)

Villamon pato on ollut Isojoella merkittävä vaelluseste Isojokeen nousseille meritaimenille. Tämän vaellusesteen poistaminen ja sen alapuolisen koskijakson kunnostaminen virtavesikalojen, erityisesti taimenen ja harjuksen, lisääntymisen parantamiseksi sekä vaelluksen helpottamiseksi on ollut osa Freshabit LIFE IP – Pohjanmaan joet –hanketta. (Palo ym. 2017, s. 2,5,21) Patoalueen kunnostustyöt aloitettiin elokuussa 2017 ja saatiin valmiiksi syyskuussa 2018 (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2018a).

Freshabit LIFE IP –hankkeeseen liittyen on vuosien 2016 ja 2017 aikana kartoitettu Lapväärtin-Isojoen jokihelmisimpukkakantoja. Arvioiden mukaan jokihelmisimpukoita olisi jäljellä vain muutamia kymmeniä, ja nekin huonokuntoisia ja vanhoja. Koska nuoria raakkuja ei ole löytynyt, on todennäköistä, ettei lisääntyminen ole enää onnistunut. Raakkukannan vähenemisen syynä voi olla esimerkiksi vesistössä oleva runsas kiintoaines, vesistön happamuus tai isäntakalojen puuttuminen simpukoiden toukkavaiheessa, jolloin ne loisivat kalojen kiduksissa. Isäntakalojen, eli meritaimenten tai lohen, määrää ja vapaata pääsyä Isojoen yläjuoksulle on jo yritetty parantaa poistamalla vaellusesteitä ja rakentamalla kalateitä, viimeisimpänä Villamon patoalueen kunnostus. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2017)

Freshabit LIFE IP-hankkeeseen liittyen raakkukantoja yritetään saada elpymään siirtämällä niitä parempiin olosuhteisiin lisääntymään ja kasvamaan ja palauttamalla ne takaisin Lapväärtin-Isojokeen, kun simpukanpoikasten herkimvät kasvuvaiheet on ohitettu (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2017). Isojoelta vietiin Konneveden tutkimusasemalle 47 jokihelmisimpukkaa lokakuussa 2017. Ähtävänjoesta oli siirretty raakkuja sinne jo vuotta aiemmin. Muita jokia, joista raakkuja siirrettiin kuntoutusasemalle Ähtävänjoen ja Isojoen lisäksi olivat Mustionjoki sekä Karvianjoki. Kun Konneveden tutkimusasemalla raakut saadaan lisääntymään, on Ähtävänjoen ja

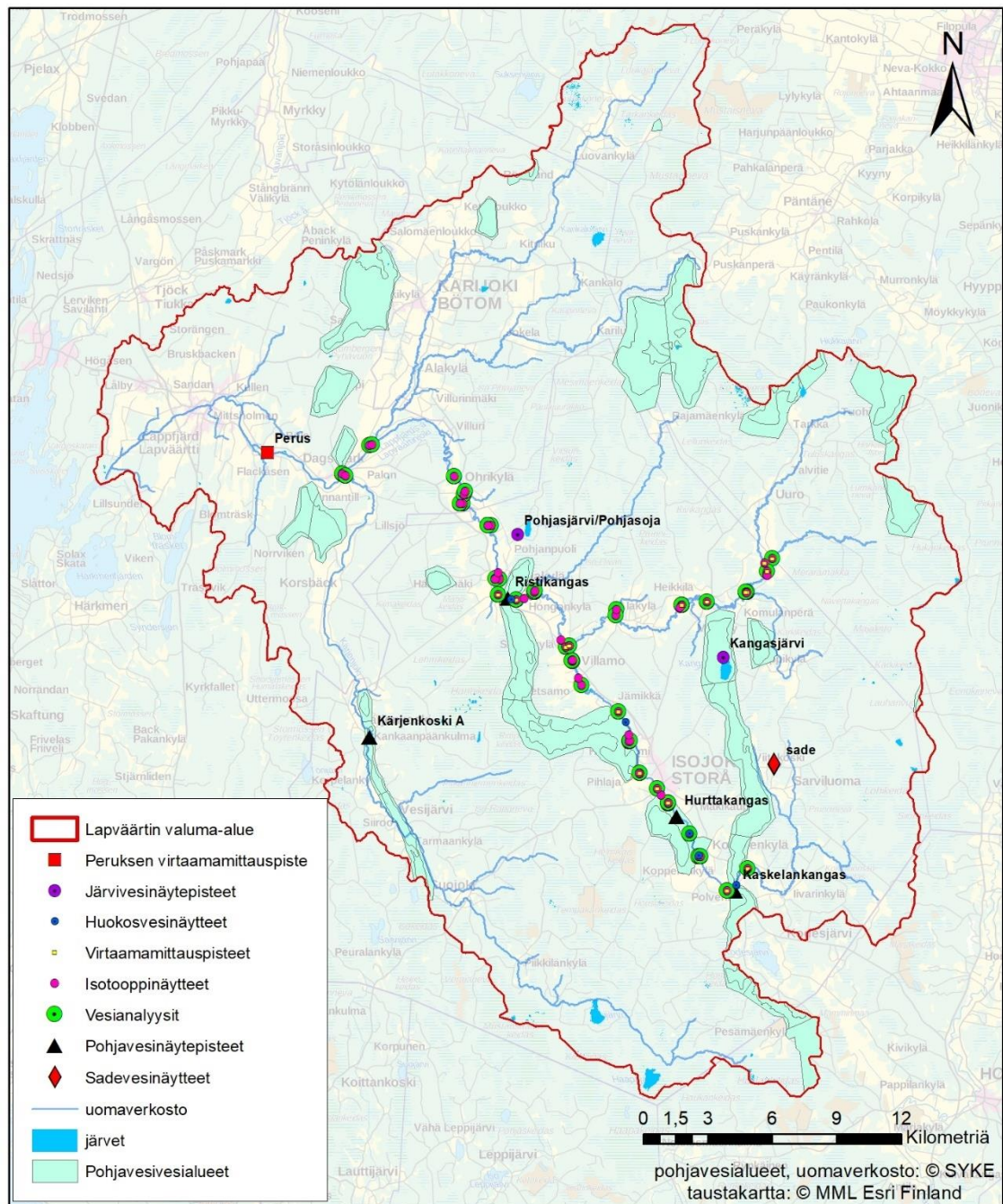
Mustiojoen raakkujen juveniilit tarkoitus lähettää Norjaan jatkokasvatettavaksi ja sieltä takaisin niiden alkuperäiseen jokeen 2-3 vuoden päästä. Isojoen ja Karvianjoen juveniileja kasvatetaan Konnevedellä. (Raitalampi ym., 2018) Lupaavia tuloksia on jo saatu, sillä esimerkiksi Isojoen raakut alkoivat lisääntyä loppukesästä 2018 (Vuorela, 2018).

4 KOEKOHDE JA KÄYTETYT TUTKIMUSMENETELMÄT

4.1 Koekohde

Tämän diplomityön varsinainen kenttämittauskausi oli 7.8.-18.8.2018 alivirtaamakauden aikaan. Tutkittavat kohteet olivat Lapväärtin-Isojoki Isojoen yläjuoksulta Korkiaharjun ja Kaskelankankaan pohjavesialueiden kohdalta Kärjenjoen (Lillån) sivu-uomalle saakka sekä Heikkilänjoki, joka on yksi Lapväärtin-Isojoen suurimmista sivu-uomista. Vesinäytteitä otettiin uomanäytteiden lisäksi myös alueen pohjavesistä, järvien pintavesistä sekä sadevedestä, jotta pohjavesivaikutteisuutta Lapväärtin-Isojoessa ja Heikkilänjoessa voitiin selvittää. Vesinäyteanalyysien pohjalta luotiin kuva alueen pohjavesien sekä tutkimusalueeseen kuuluvien jokivesien laadusta. Vesinäytteiden lisäksi mitattiin uomien virtaamia samoista paikoista, joista vesinäytteitä otettiin. Virtaamadataa pidemmältä ajalta kenttämittauskauden ulkopuolelta saatiin Peruksen havaintoasemalta.

Pohjavesinäytteet kerättiin kolmen pohjavesilaitoksen raakavesihanasta sekä yhdestä lähdekaivosta (Kuva 7). Pintavesinäytteet otettiin uomanäytteiden lisäksi alueella sijaitsevista kahdesta järvestä. Pohjavesinäytteistä, järvivesinäytteistä sekä suurimmasta osasta uomanäytteitä analysoitiin koko vesianalyysipaketti, johon kuului useita veden laatua mittaavia analyyseja, sekä veden stabiilit isotoopit ^{18}O ja ^2H . Näytteenottojakson aikana satoi 2 kertaa, ja molempien sateiden jälkeen otettiin sadevesinäytteet Sarviluoman lähellä olevalta leirintäalueelta sadevesikeräimellä sateiden isotooppianalyysiä varten. Sadevesinäytteistä analysoitiin pelkästään veden stabiilit isotoopit ^{18}O ja ^2H .



Kuva 7. Tutkimuspisteiden sijoittuminen Lapväärtin valuma-alueelle.

4.2 Tutkimuspisteiden sijoittuminen

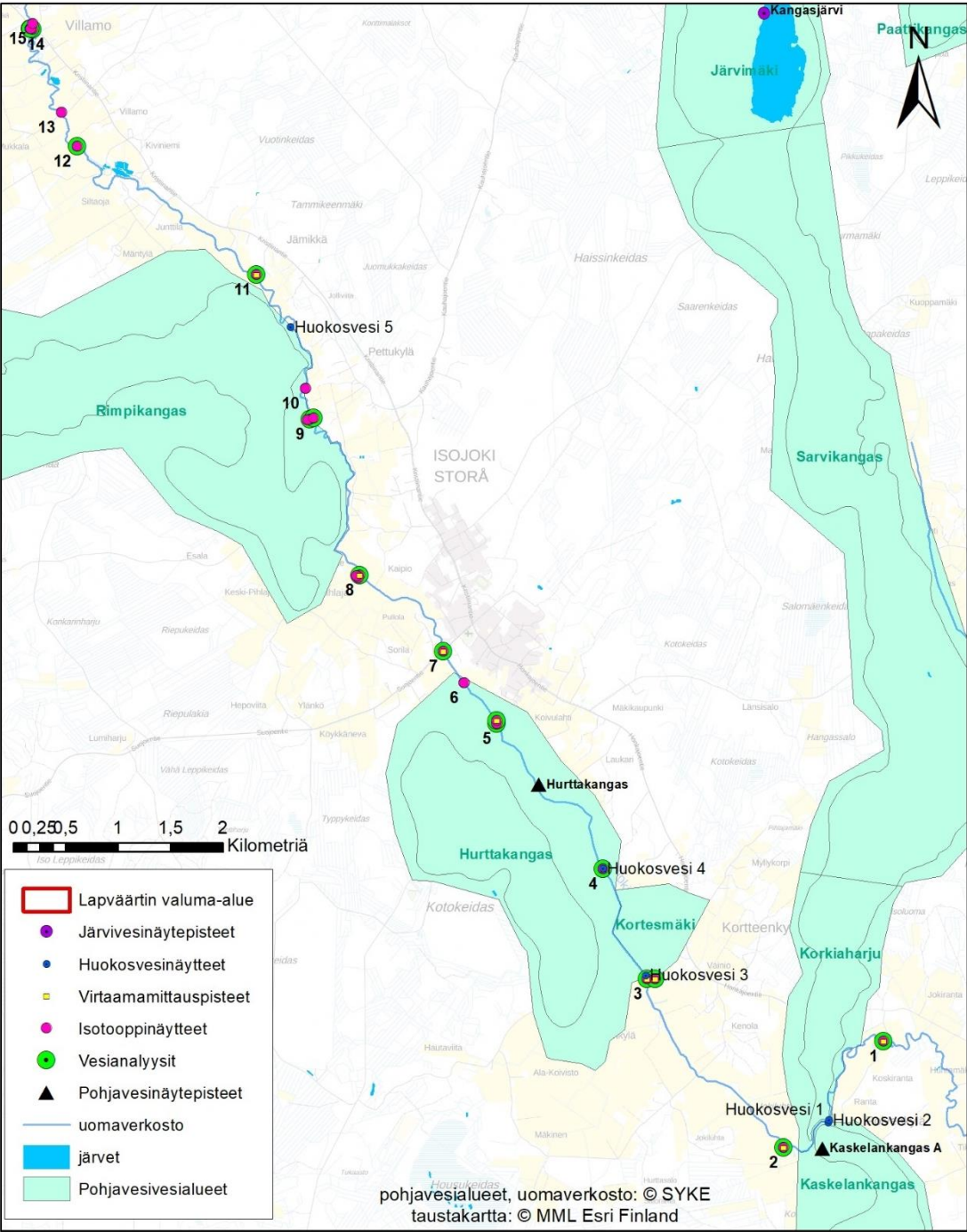
4.2.1 Jokiuomien tutkimuspisteet

Lapväärtin-Isojoen ensimmäinen tutkimuspiste sijaitsee Isojoen alkupäässä Korkiaharjun ja Kaskelankankaan pohjavesialueiden itäpuolella ja sen ETRS-TM35FIN-koordinaatit ovat: E: 241011, N: 6893136. Viimeisin tutkimuspiste Isojoen alavirrasta sijaitsee juuri ennen Kärjenjoen (Lillån) sivu-uomaa (E: 222162, N: 6911534). Heikkilänjoen ensimmäinen tutkimuspiste 101 sijaitsee Heikkilänjoen

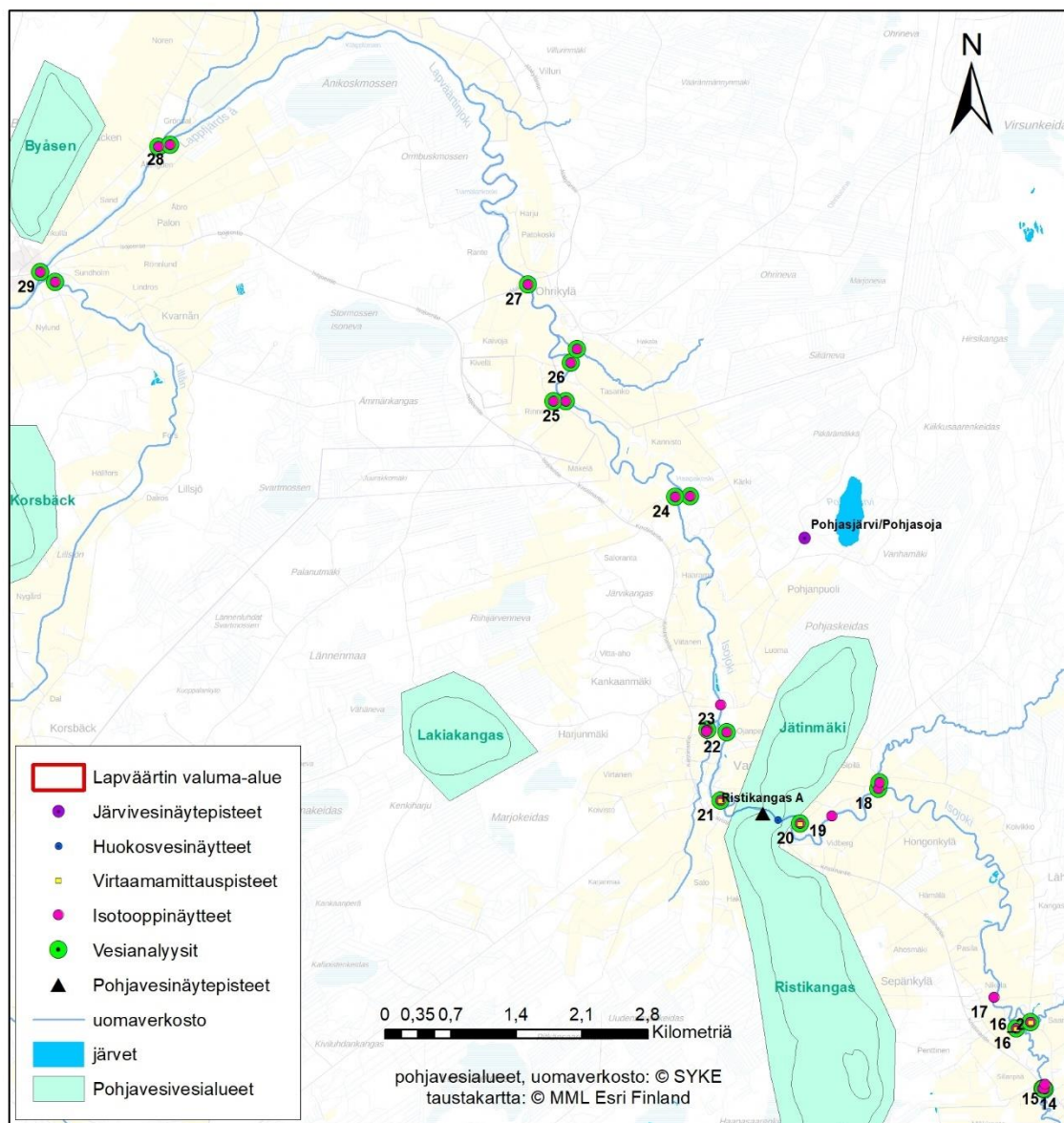
ylävirrassa Hukanluoman yläpuolella (E: 241817, N: 6907369,7) ja Heikkilänjoen alavirrassa viimeisin pääuoman piste 16_2 juuri ennen kuin Heikkilänjoki laskee Isojokeen (E: 232713, 6903536).

Kaikki Isojoen ja Heikkilänjoen pääuomien tutkimuspisteet on numeroitu juoksevilla numerolla kyseessä olevan jokiuoman ylävirrasta alkaen. Tässä tapauksessa puhuttaessa pääuomasta, tarkoitetaan joko Isojokea tai Heikkilänjokea, vaikka Heikkilänjoki onkin yksi Isojoen sivu-uomista. Isojoen pääuoman tutkimuspisteet on merkitty numeroilla 1-29 (Kuva 8 ja Kuva 9). Heikkilänjoen pääuoman tutkimuspisteet on merkitty numeroilla 101-109 sekä 16_2 (Kuva 10). Heikkilänjoen viimeisimmän pääuoman pisteen numero on 16_2, sillä se on myös yksi Lapväärtin-Isojoen sivu-uomapisteistä. Pääuomaan laskevat sivu-uomat on numeroitu tyylillä ”päänumero_alanumero”. Päänumero tulee sivu-uomaa edeltävän pääuoman näytepisteestä ja alanumero määräytyy juoksevilla numeroinnilla alkaen numerosta 2 sen mukaan, kuinka monta sivu-uomaa pääuoman tutkimuspisteen jälkeen on ennen seuraavaa pääuoman tutkimuspistettä. Esimerkiksi pääuoman pistettä 29 seuraa sivu-uoma 29_2, joka laskee siis pääuomaan heti pisteen 29 jälkeen.

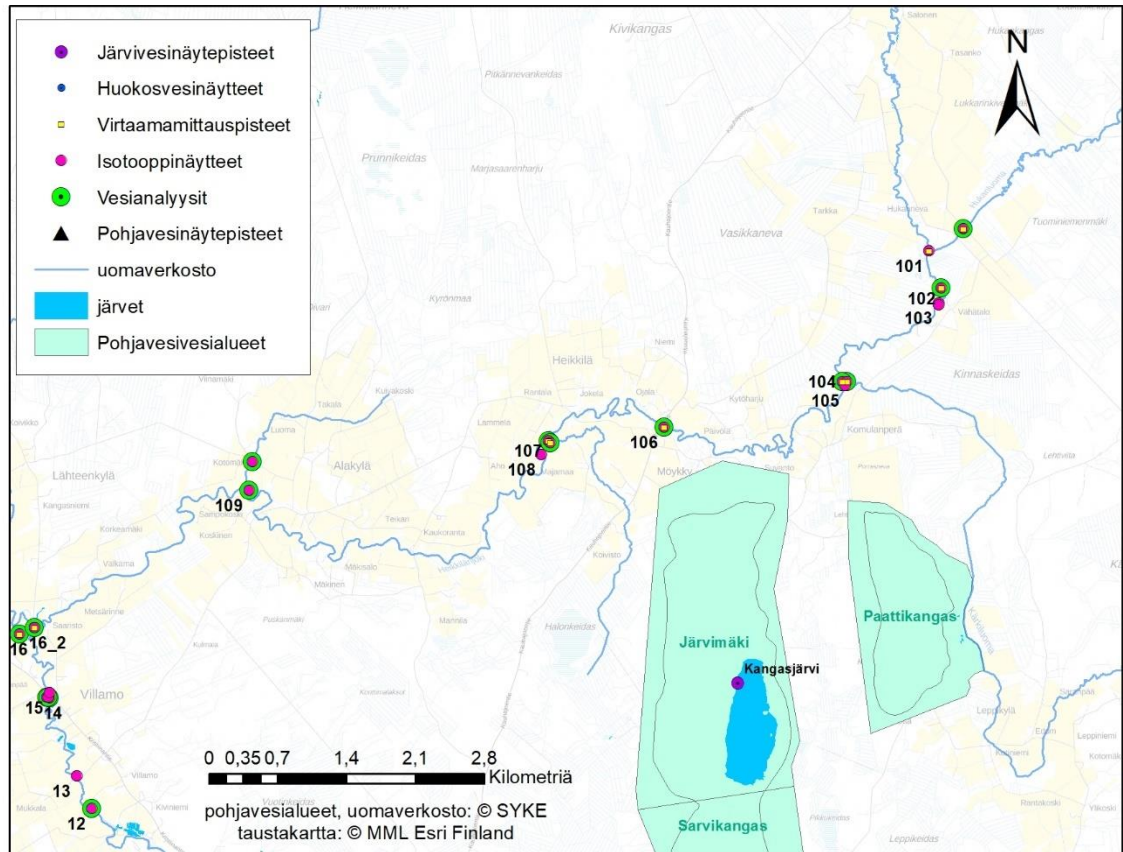
Virtavedestä otettujen vesinäytteiden lisäksi otettiin huokosvesinäytteitä kuuden eri pohjavesialueen kohdalta, uoman reunalta pohjasedimentistä. Näillä näytteillä pyrittiin selvittämään pohjavesialueilta uomaan purkautuvaa pohjavesivirtausta. Oletuksena oli, että pohjavesi suotautuu uomaan pohjasedimentin kautta. Sen vuoksi huokosvesinäytteillä pyrittiin saamaan näyte suoraan purkautuvasta pohjavedestä ennen kuin pohjavesi sekoittuu uomassa virtaavaan pintaveteen ja pohjavesisignaali heikkenee.



Kuva 8. Isojoen yläjuoksun tutkimuspisteet. Tutkimuspisteistä on kuvassa numeroitu vain pääuoman pisteet kuvan selkeyden vuoksi.



Kuva 9. Isojoen alajuoksun tutkimuspisteet. Tutkimuspisteistä on kuvassa numeroitu vain pääuoman pisteet kuvan selkeyden vuoksi.

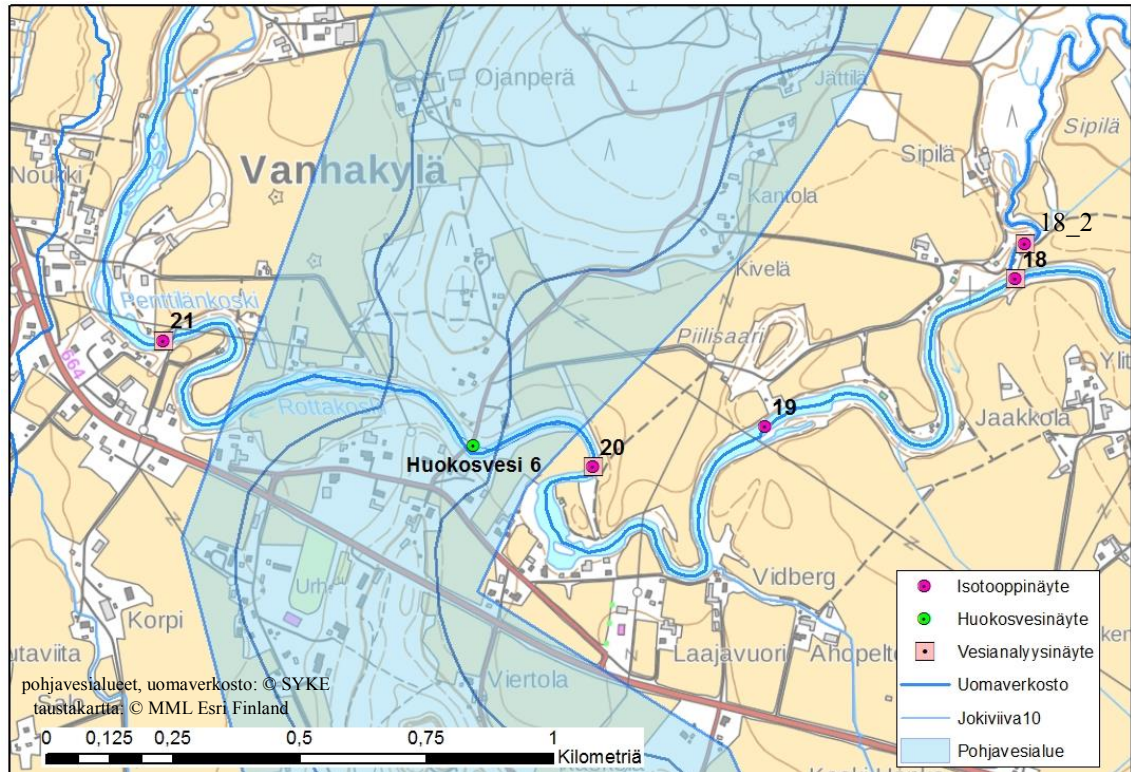


Kuva 10. Heikkilänjoen tutkimuspisteet. Kuvan selkeyden vuoksi tutkimuspisteistä on numeroitu vain pääuomien pisteet.

Uoman tutkimuspisteet pyrittiin sijoittamaan siten, että pääuoman tutkimuspisteet otettiin juuri ennen kuin jokin sivu-uoma laskee siihen (Kuva 11 näytepiste 18). Näistä pääuoman näytepisteistä otettiin vesianalyysinäytteet, isotooppinäytteet ja virtaamamittaus sekä mitattiin lämpötila. Samat mittaukset ja näytteet pyrittiin tekemään jokaiselle pääuomaan laskevalle sivu-uomalle, juuri ennen kuin sivu-uoma laskee pääuomaan (Kuva 11 näytepiste 18_2). Lisäksi jokaisen sivu-uoman jälkeen pyrittiin ottamaan isotooppinäyte ja mittaamaan lämpötila joen alavirrasta sellaisesta kohdasta, jossa arvioitiin veden olevan tarpeeksi sekoittunutta – joko niin, että vesi oli virrannut uomassa n. 200 m, kosken tms. alapuolella tai mutkaisen joen kohdan jälkeen (Kuva 11 näytepiste 19).

Sivu-uomien lisäksi tarkasteltiin pohjavesialueiden vaikutusta Lapväärtin-Isojoen sekä Heikkilänjoen pääuomissa virtaavaan veteen. Vesianalyysinäytteet, isotooppinäytteet, lämpötila ja virtaamamittaus otettiin joesta aina ennen kuin joki kulki pohjavesialueen läpi (Kuva 11 näytepiste 20) sekä pohjavesialueen jälkeen (Kuva 11 näytepiste 21), kun

vesi oli tarpeeksi sekoittunutta, samojen periaatteiden mukaan kuin sivu-uomien jälkeen otetuissa näytteissä. Huokosvesinäytteet (Kuva 11 huokosvesi 6) otettiin mahdollisuuksien mukaan pohjavesialueen kohdalla joen pohjasedimentistä rannan tuntumasta siltä puolelta jokea, jolla pohjavesialue sijaitsi.



Kuva 11. Tutkimuspisteiden sijoittuminen Vanhakylän kohdalla.

Havainnekuvan (Kuva 11) mukaista näytteenottosuunnitelmaa noudatettiin aikataulujen ja olosuhteiden salliessa. Näin ollen esimerkiksi osa isotooppinäytteistä sivu-uomien jälkeen sekä osa virtaamamittauksista jäi ottamatta ajanpuutteen vuoksi. Lisäksi jotkut suunnitellut pisteet olivat niin vaikeakulkuisissa paikoissa, että ne päätettiin aikataulun puitteissa jättää ottamatta. Lisäksi osa sivu-uomista jäi huomioimatta näytteenottoa suunnitellessa, koska näytepisteet suunniteltiin karttakuvan perusteella käymättä etukäteen paikan päällä. Osa suunnitelmavaiheessa huomioimatta jääneistä sivu-uomista kuitenkin havaittiin, kun näytteitä oltiin ottamassa, mutta niistä pystyttiin ottamaan pelkkä isotooppinäyte, koska niihin ei ollut tilattu näytepulloja muita vesianalyyssejä varten.

Sivu-uomien virtaamia jäi mittamatta myös sen vuoksi, että osa sivu-uomien virtaamista oli liian pieniä käytettävissä olevalle siivikolle. Joko niin, että uoman vedenkorkeus ei ollut riittävä tai niin, että siivikkomittari ei ollut tarpeeksi herkkä hitaille

virtausnopeuksille. Toisaalta joissain kohdissa pääuoma oli liian syvä siivikkomittauksen tekemiseen eikä virtaamamittausta muilla laitteilla päästy tekemään.

4.2.2 Pohjavesialueiden tarkasteluun liittyvät tutkimuspisteet

Kaskelankankaan ja Korkiaharjun pohjavesialueet olivat ensimmäiset pohjavesialueet tarkasteltavalla Lapväärtin-Isojoen jokialueella. Niitä tutkittiin uomapisteiden 1 ja 2 sekä pohjavesialueiden pohjasedimentistä otettujen huokosvesinäytteiden 1 ja 2 avulla. Huokosvesinäyte 1 otettiin Kaskelankankaan pohjavesialueelta ja huokosvesinäyte 2 Korkiaharjun pohjavesialueen puolelta. Lisäksi Kaskelankankaan pohjavesialueelta otettua näytettä käytettiin tulosten tulkinnessa. Pohjavesialueiden tuloksia oli vaikea erotella toisistaan, koska ne sijaitsevat samalla kohdalla uomaa, uoman eri puolilla.

Hurttakankaan ja Kortesmäen pohjavesialueet ovat alavirtaan mentäessä seuraavat pohjavesialueet, joiden läpi Lapväärtin-Isojoki virtaa. Kortesmäen pohjavesialue on pieni pohjavesialue joen itäpuolella Hurttakankaan pohjavesialueen vieressä. Kortesmäen pohjavesialueen tuloksia oli siis vaikea erotella kokonaan Hurttakankaan tuloksista. Kortesmäkeä tarkasteltiin pisteiden 3 ja 4 tuloksilla ja Kortesmäen pohjavesialueelta otetulla huokosvesinäyte 3:lla. Hurttakankaan pohjavesialuetta tarkastellaan erityisesti tutkimuspisteiden 4-7 tuloksilla. Hurttakankaan pohjavesialueen tuloksissa otettiin huomioon myös huokosvesinäyte 4 sekä pohjavesialueelta otettu pohjavesinäyte.

Rimpikangas on alavirtaan seuraava tarkasteltu pohjavesialue. Ennen pohjavesialuetta otettiin piste 8 ja pohjavesialueen jälkeen piste 11 ja pohjavesialuetta tarkasteltiin erityisesti näiden avulla. Tarkastelussa huomioon otettiin kuitenkin myös pisteiden 8 ja 11 välissä olleiden tutkimuspisteiden tulokset. Tutkimukset tehtiin pisteiden 8 ja 11 lisäksi pohjavesialueen kohdalta jokeen laskevista sivuhaaroista 8_2, 8_3, 9_2 sekä Koniluomasta (9_3). Näyte numero 10 otettiin pääuomasta sivu-uomien 9_2 ja 9_3 jälkeen. Pohjavesialueen kohdalta otettiin lisäksi huokosvesinäyte 5.

Rimpikankaan pohjavesialueen jälkeen seuraavia pohjavesialueita eli Jätinmäen ja Ristikankaan pohjavesialueita tarkasteltiin pääuoman pisteiden 19-21 avulla. Pohjavesialueiden vaikutusta uomaan on vaikea erottaa toisistaan, sillä ne sijaitsevat uoman molemmin puolin samoilla uoman kilometreillä. Jätinmäen pohjavesialueen puolelta otettiin myös huokosvesinäyte 6.

4.3 Tutkimusmenetelmät

4.3.1 Pohjavesi-indikaattorit ja muut veden laatua mittaavat tekijät

Tämän diplomityön tutkimusosassa käytettiin pääasiallisena pohjaveden merkkiaineena veden stabiileja isotooppeja ^{18}O (Oxygen-18) ja ^2H (Deuterium). Isotoopit mitattiin, koska haluttiin selvittää pohjaveden purkautumista jokeen joen eri kohdissa. Vesinäytteiden isotooppikoostumukset analysoitiin Oulun yliopistolla Picarro-analysaattorilla L2130-i. Laitteen toiminta perustuu lasersäteen absorptioon (Isokangas 2013). Picarro-analysaattori mittasi standardinäytteiden ja Chemcorrect-ohjelman avulla kullekin vesinäytteelle kalibroidun kuuden näytteen keskiarvon $\delta^{18}\text{O}$:lle sekä $\delta^2\text{H}$:lle.

Isotooppinäytteet otettiin pääuomasta ennen sivu-uoman laskemista siihen sekä itse sivu-uomasta. Näin voitiin vertailla tuoko sivu-uoma pääuomaan pohjavettä vai onko sivu-uoman vedessä enemmän pintavettä kuin pääuomassa. Lisäksi isotooppinäytteitä otettiin näiden pisteiden jälkeen, joka on näiden kahden virtaaman sekoittuma ja ilmentää niiden suhdetta. Uoman isotooppinäytteet otettiin virtavedestä puolesta välistä vesikorkeutta, jos veden korkeus mittauspisteessä oli alle 60 cm. Tätä syvemmistä paikoista isotooppinäytteet on otettu noin 30 cm syvyydeltä eli käsivarren mitan päästä. Uomasta otetut isotooppinäytteet otettiin suoraan isotooppinäytepulloihin sulkemalla korkit veden alla, jotta ilmaa ei päässyt näytepulloon. Myös muut kuin uomanäytteet pyrittiin ottamaan isotooppinäytepulloihin niin, että ne olisivat ilmatiiviitä, jotta isotooppien fraktioitumista näytepullossa ei tapahtuisi.

Lisäksi isotooppinäytteet otettiin ennen ja jälkeen pohjavesialueiden, jotta voitiin tutkia pohjaveden purkautumista pohjavesialueilta uomaan. Mikäli pohjavesialue oli jokeen suorassa kontaktissa, pohjavesialueen reunalta rantaveden pohjasedimentistä otettiin myös huokosvesinäyte isotooppianalyseja varten, jonka tarkoituksena oli päästä käsiksi suoraan pohjavesialueelta uomaan suotautuvaan pohjaveteen. Huokosvesinäytteet isotooppianalyseja varten otettiin Oulun yliopiston huokosvesinäytteenottimella. Näyte otettiin laittamalla näytteenottimen siiviläosa maaperään n. 20 cm:n syvyydelle ja pumppaamalla vesi siivilän läpi näytepulloon. Huokosvesinäytteitä päästiin ottamaan yhteensä 6 kappaletta.

Joen uomasta mitattiin myös veden lämpötiloja, sillä pohjavesi on usein kylmempää kuin pintavesi, jolloin pohjaveden purkautumispaikat voivat erottua poikkeamana joen

normaalista lämpötilasta. Veden lämpötila mitattiin uoman mittauspisteissä suoraan virtaavasta vedestä noin 10 cm vedenpinnan alapuolelta mittarin tyypin vuoksi. Ilman lämpötila on näytteenottohetkellä katsottu auton lämpömittarista. Lisäksi tukena on käytetty ilmatieteenlaitoksen mittaamaa dataa ilman lämpötilasta.

Isotooppinäytteitä otettiin lisäksi valuma-alueella sijaitsevilta neljältä pohjavesialueelta sekä kahdesta järvestä, jotta saatiin vertailupohjaa uoman analyysituloksille. Kaskelankankaan pohjavesialueelta vesinäyte otettiin noutimella lähdekaivosta. Kärjenkosken, Ristikankaan ja Hurttakankaan pohjavesinäytteet otettiin vedenottamoiden raakavesihanasta suoraan näytepulloihin. Järvinäytteet otettiin Kangasjärvestä ja Pohjasjärvestä. Pohjasjärvestä ei päästy ottamaan näytettä suoraan järvestä, joten näyte otettiin siitä lähtevästä laskuojasta, mahdollisimman läheltä järveä.

Sadenäytteitä otettiin sadevesikeräimellä Lauhansarvessa kenttämittausten aikana olleista kahdesta sateesta ja analysoitiin niiden isotooppiarvot. Kenttänäytteenoton lisäksi sateiden kuukausinäytteitä on kerätty Lapväärtin valuma-alueen ulkopuolelta, Vanhan Vaasan mittauspaikalta, vuosina 2016 ja 2017. Näytteistä analysoitiin veden stabiilit isotooppiarvot Oulun yliopistolla tätä diplomityötä varten ja käytettiin niitä vertailunäytteinä.

Veden laatua tutkittiin analysoimalla vesinäytteistä väriluku, pH, alkaliniteetti, happipitoisuus, hapen kyllästysprosentti, CODMn, ntraattityppi, ammoniumtyppi, fosfaattifosfori, mangaani sekä rauta. Laadun mittareita tutkimalla oli tarkoituksena selvittää joessa virtaavan veden sekä pohjaveden laatua valuma-alueella. Lisäksi vesianalyysipakettiin kuuluvaa piidioksidia käytettiin yhdessä veden stabiilien isotooppien kanssa merkkiaineena arvioitaessa pohjaveden määrää uomassa. Näytteet otettiin pääuomasta ja sivu-uomista yhtä aikaa isotooppinäytteiden kanssa sekä pohjavesialueiden ja järvien vesistä. Vesinäytteet pyrittiin ottamaan puolesta välistä vesikorkeutta varrellista näytteenottopulloa apuna käyttäen. Vesinäytteet analysoitiin Eurofinsin laboratoriossa, Eurofins Environment Testing Finland Oy:n toimesta.

4.3.2 Virtaama

Virtaamaa on käytetty tässä työssä apuna arvioitaessa uomaan purkautuvien pohjavesien määrää, sillä virtaama kasvaa, kun pohjavettä purkautuu jokeen. Tähän diplomityöhön liittyvät kenttämittaukset tehtiin alivirtaamakauden aikaan, jolloin maavesivalunta ja

pintavesivalunta olivat mahdollisimman pieniä vähäisen sadannan ja runsaan haihdunnan vuoksi. Tällöin pohjavesivalunnalle jäi suurin rooli virtaaman kasvussa. Kaikkia sivu-uomia ei tässä työssä resurssien puitteissa voitu mitata eikä näin ollen huomioida. Joesta suotautuu vettä jatkuvasti myös takaisin maaperään. Mitatuista virtaamista ei voida siis päätellä suoraan pohjaveden virtausmäärää, mutta tuloksista voidaan saada osviittaa pohjaveden purkautumisesta jokeen, varsinkin jos virtaamat kasvavat huomattavasti pohjavesialueiden kohdalla ja kohdissa, joissa ei karttojen tai maastohavaintojen perusteella ole sivuvirtoja, jotka laskisivat jokeen.

Suurin osa uomien virtaamista mitattiin ELY-keskuksen siivikolla (OTT 33613-1, runko 54811). Siivikolla mitattujen virtausnopeuksien sekä uoman profiilin perusteella laskettiin virtaama kussakin poikkileikkauksessa SYKE:n hyd-valikko -ohjelmalla. Kustakin uoman poikkileikkauksesta mittaushaaroja oli horisontaalisesti noin puolen metrin välein ja kustakin horisontaalisesta mittaushaaroista oli syvyyssuunnassa mittauspisteitä 1-4 kappaletta, uoman syvyydestä riippuen.

Vanhakylän näytepisteen 20 virtaamamittaus tehtiin veneestä doppler-ilmiöön perustuvalla laitteistolla Sontekin River Surveyor M9 ADCP:llä, joka laskee keskimääräisen virtaaman automaattisesti uoman profiilin perusteella. Näytepisteen 21 virtaama mitattiin siivikolla P1986, Sontekin Flowtracker handheld adv.

Vaikka eri mittareiden pitäisi näyttää samoja tuloksia, on tulosten vertailuun hyvä suhtautua pienellä varauksella, sillä esimerkiksi mittareiden tarkkuudet voivat olla erilaisia. Pääosa virtaamamittauksista suoritettiin siivikkomittarilla. Käytetty siivikkomittari ei kuitenkaan jossain uoman kohdissa ollut tarpeeksi herkkä, sillä se ei lähtenyt mittamaan, jos virtausnopeus oli hyvin hidas ja tämän vuoksi näissä kohdissa tulleet tulokset eivät välttämättä ole kovin tarkkoja. Myöskään pienimpien purojen virtaamaa ei pystytty mittamaan koska siivikkomittari oli kooltaan liian suuri niille ja siivikon propelli jäi vedenpinnan yläpuolelle. Ongelmia aiheutti myös osassa mittauspisteitä tiheä kasvillisuus sekä jokeen kaatuneet puut, vaikka mittaukset yritettiin ottaa paikoista, joissa nämä aiheuttaisivat mahdollisimman vähän häiriötä.

Näiden diplomityön kenttämittauskauden puitteissa mitattujen virtaamien lisäksi käytettiin taustatietona Peruksen jatkuvatoimista mittausasemalla mitattuja virtaamatietoja. Peruksessa mitatun datan perusteella voitiin verrata vuoden 2018

virtaamien suuruutta vuosina 1980-2017 mitattuihin keskimääräisiin virtaamiin eri kuukausina.

5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Vuoden 2018 kesä oli poikkeuksellisen lämmin ja vähäsateinen, ja tällä oli vaikutusta myös Etelä-Pohjanmaan jokivesistöjen tilaan. Jokien lämpötilat, vesimäärät, valuma-alueelta tulevan kuormituksen määrä sekä jätevesien laimentuminen saattoivat olla tästä syystä normaalista poikkeavia. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen havaintojen mukaan valuma-alueilta tuleva kuormitus jäi vähäisten sateiden takia normaalia vähäisemmäksi, mutta jätevesien sekä muiden pistemäisten kuormitusten merkitys kasvoi. Havaittiin myös, että Isojoen vesi oli kesällä varsin kirkasta sen pohjavesivaikutteisuudesta johtuen. Myös pohjaveden korkeus havainnoitiin useassa paikassa keskimääräistä matalammaksi. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2018b) Nämä ELY-keskuksen tekemät havainnot voivat vaikuttaa myös tässä diplomityössä esitettyihin tuloksiin.

5.1 Veden stabiilit isotoopit ja piidioksidi

5.1.1 Sadevesinäytteet

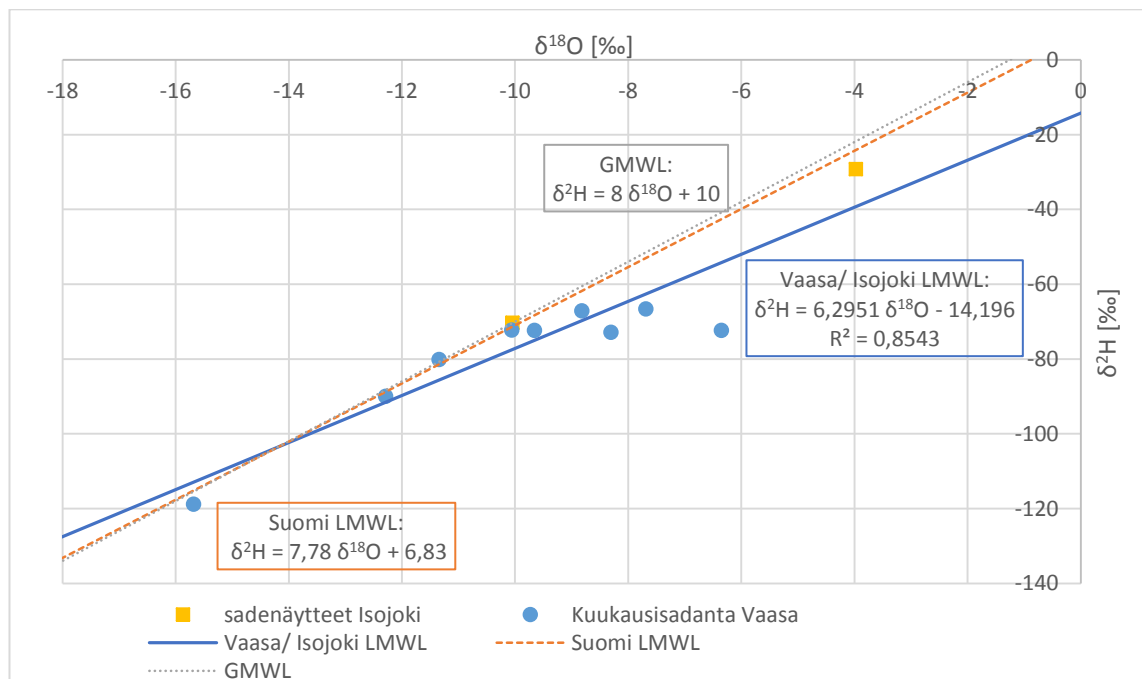
Vanhasta Vaasasta vuosina 2016 ja 2017 otettujen sadannan kuukausinäytteiden tulosten perusteella talvikuukausien sateet saivat negatiivisempia $\delta^{18}\text{O}$ ja $\delta^2\text{H}$ -arvoja verrattuna kevät- ja kesäkuukausien sadenäytetuloksiin (Taulukko 3). Kuukausisadannan keskiarvo $\delta^{18}\text{O}$:lle oli näiden näytteiden perusteella -10,02‰ ja $\delta^2\text{H}$:lle -79,18‰. Kuukausinäytteistä laskettua vuoden keskiarvoa vääristää kuitenkin se, ettei joulukuussa 2016, tammikuussa 2017 tai helmikuussa 2017 ole kerätty sadenäytteitä. Koska isotooppiarvot arvot ovat talvella olleet keskimääräisesti negatiivisempia kuin kesällä, on todellinen vuosikeskiarvo δ -arvoille todennäköisesti negatiivisempi. Huomattavaa on, että kenttämittauskaudella eri sadetapahtumista otettujen sadenäytteiden isotooppiarvot eroavat hyvin paljon toisistaan. Tämä voi johtua esimerkiksi lämpötilan vaihtelusta (Isokangas 2013, s. 26). Isojoelta otetuille sadenäytteiden keskiarvo $\delta^{18}\text{O}$:lle oli -7,01‰ ja keskiarvo $\delta^2\text{H}$:lle -49,75‰.

Taulukko 3. Vanhan Vaasan sadevesien kuukausinäytteiden sekä kenttämittauskauden aikana Isojoelta otettujen sadantanäytteiden stabiilien isotooppien analyysitulokset.

Näyte	Paikka	Näytteenotto pvm.	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]
Kuukausisadanta	Vaasa	12.9.2016	-12,2855	-89,9687
Kuukausisadanta	Vaasa	10.10.2016	-10,0556	-72,2774
Kuukausisadanta	Vaasa	9.11.2016	-11,3408	-80,185
Kuukausisadanta	Vaasa	1.3.2017	-15,6829	-118,837
Kuukausisadanta	Vaasa	3.4.2017	-8,30239	-72,9026
Kuukausisadanta	Vaasa	4.5.2017	-6,35187	-72,3304
Kuukausisadanta	Vaasa	2.6.2017	-8,81846	-67,1187
Kuukausisadanta	Vaasa	7.7.2017	-7,68722	-66,636
Kuukausisadanta	Vaasa	14.8.2017	-9,65251	-72,3347
sade 1	Isojoki	17.8.2018	-3,98	-29,20
sade 2	Isojoki	18.8.2018	-10,05	-70,31

Vaasan kuukausisadannoista ja Isojoen yksittäisistä sateista muodostettiin paikallinen LMWL-suora (yhtälö 8, Kuva 12).

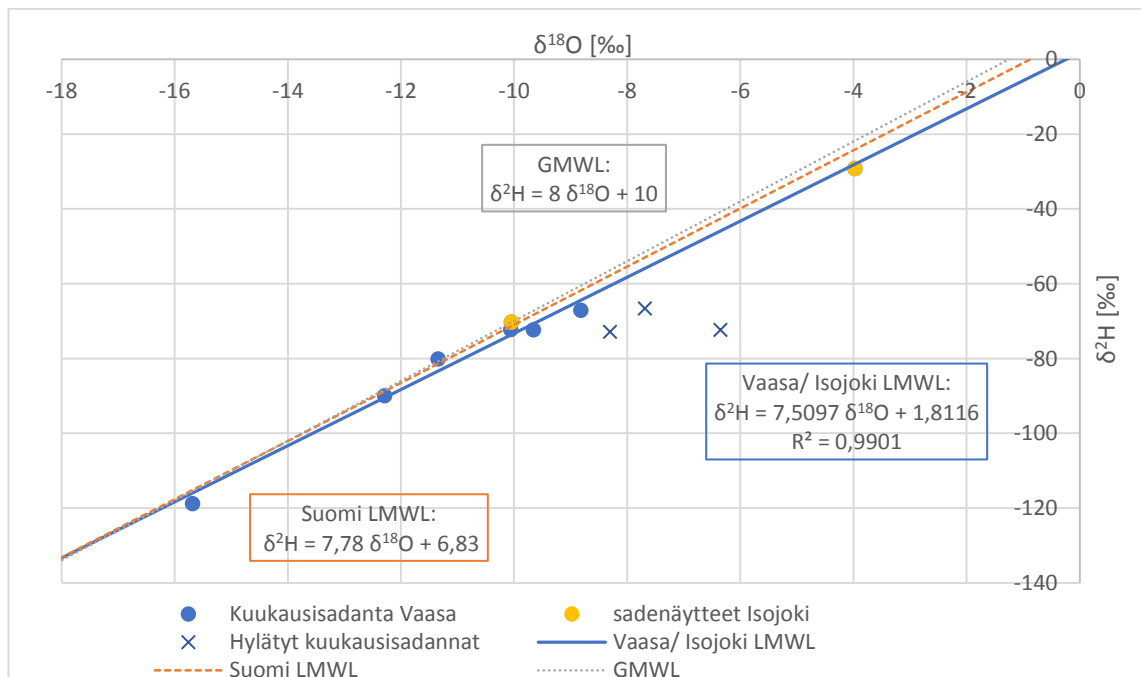
$$\delta^2\text{H} = 6,2951 \delta^{18}\text{O} - 14,196 \quad (8)$$



Kuva 12. Sadenäytteet, Vaasan ja Isojoen kaikkien sadenäytteiden pohjalta muodostettu LMWL-suora, GMWL-suora (Clark & Fritz 1997) sekä Suomen LMWL-suora (Kyllönen 2018)

Toukokuun kuukausinäyte poikkesi huomattavasti sadenäytteiden muodostamasta suorasta. Myös huhtikuun ja heinäkuun näytteet poikkesivat muista näytteistä ja pienensivät muodostuvat LMWL-suoran kulmakerrointa. Näytteiden sijoittuminen muodostetun suoran sekä Suomen LMWL ja GMWL -suorien suhteen viittaa siihen, että näytteissä on tapahtunut haihduntaa, sillä veden haihtuessa ^{18}O rikastuu suhteessa enemmän kuin ^2H . Muut vesinäytteet osuivat lähelle GMWL ja Suomen LMWL -suoria. Poikkeamat pienensivät myös tulosten luotettavuutta kuvaavaa termiä R^2 . Kun vuoden 2017 huhtikuun, toukokuun ja heinäkuun näytteet hylättiin suoralta, muuttui suoran kulmakerroin suuremmaksi ja R^2 parantui huomattavasti (yhtälö 9, Kuva 13). Myös Isojoelta otetut sadenäytteet asettuvat tälle suoralle paremmin. Nämä kaksi sadenäytettä otettiin näytteidenoton aikaan ja hyvin läheltä näytteidenottoaikoja. Lisäksi varmistettiin mahdollisimman vähäinen haihtuminen sulkemalla vesinäyte heti sadetapahtumien jälkeen ilmatiiviisiin astioihin. Isojoelta otettuja sadenäytteitä voidaan näin ollen pitää melko luotettavina kuvaamaan tarkasteltua aluetta.

$$\delta^2\text{H} = 7,5097 \delta^{18}\text{O} + 1,8116 \quad (9)$$



Kuva 13. Vaasan/ Isojoen LMWL-suora, josta poistettu huomattavasti muista poikkeavat näytteet. Vertailuna GMWL-suora (Clark & Fritz 1997) sekä Suomen LMWL-suora (Kyllönen 2018)

5.1.2 Pohjavesinäytteet ja huokosvesinäytteet

Lapväärtin valuma-alueelta otettujen pohjavesinäytteiden isotooppitulokset sekä piidioksiditulokset asettuivat lähelle toisiaan (taulukko 4). $\delta^{18}\text{O}$:n arvot sijoittuivat välille -11,74...-11,37‰ keskiarvolla -11,56‰. $\delta^2\text{H}$:n arvot sijoittuivat välille -85,32...-82,86‰ keskiarvolla -83,80‰. Piidioksidipitoisuudet olivat välillä 16...22 mg/l ja keskiarvo niille oli 19,75 mg/l.

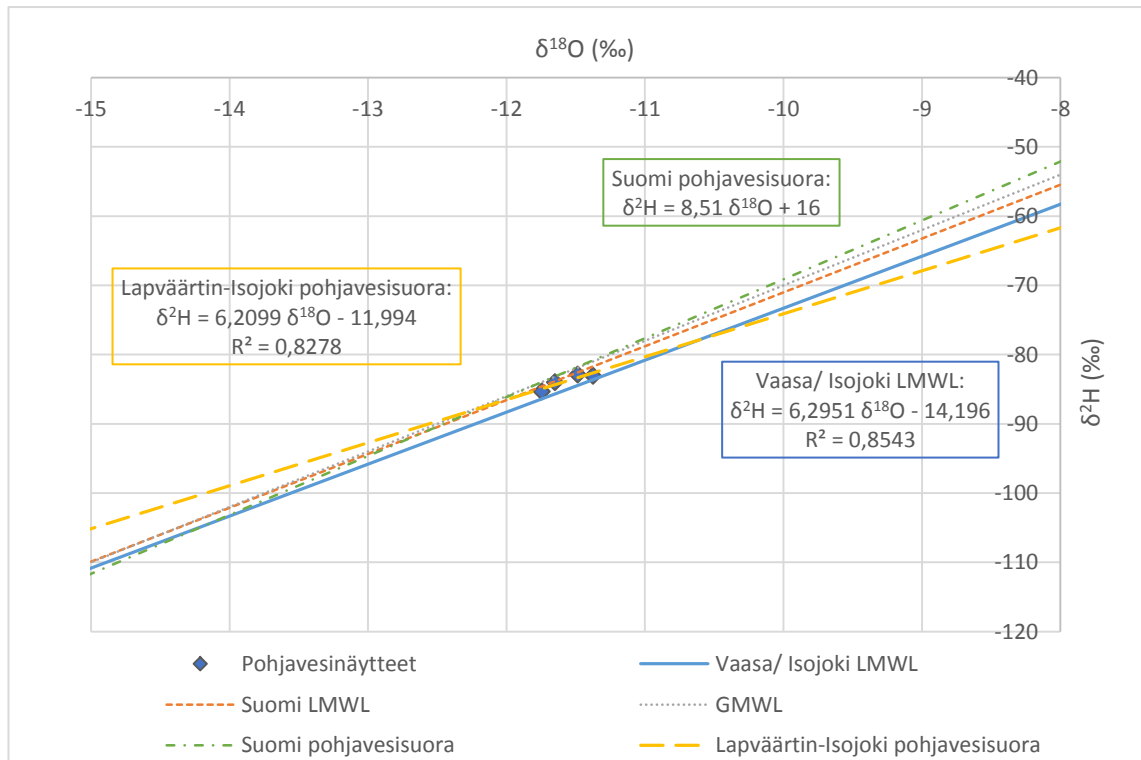
Taulukko 4. Pohjavesinäytteiden isotooppiarvot ja piidioksidipitoisuus.

Pohjavesialue	Vedenottamo	Näytteen ottopaikka tarkennus	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	SiO_2 [mg/l]
Kärjenkoski A	Kärjenkosken vesiosuuskunta	Pohjavedenottamon raakavesihanasta	-11,49	-82,86	21
Ristikangas	Jokiranta/Vanhakylän vesiosuuskunta Lähde	Pohjavedenottamon raakavesihanasta	-11,65	-83,98	20
Hurttakangas	Kujala / Isojoen kunnan vesihuoltolaitos	Pohjavedenottamon raakavesihanasta	-11,74	-85,32	22
Kaskelankangas	Yhtymä Vesipolvi	Noutimella lähdekaivosta	-11,37	-83,04	16
Keskiarvo			-11,56	-83,80	19,75

Pohjavesinäytteistä muodostettiin pohjavesisuora Lapväärtin-Isojoelle (yhtälö 10, Kuva 14).

$$\delta^2\text{H} = 6,2099 \delta^{18}\text{O} - 11,994 \quad (10)$$

Pohjavesinäytteitä oli hyvin vähän, joka vaikuttaa pohjavesisuoran luotettavuuteen. Kaikki näytteet sijoittuivat kuitenkin Vaasan ja Isojoen sadenäytteistä muodostetut LMWL-suoran yläpuolelle. Tämä voi johtua siitä, että sadenäytteissä on ollut enemmän haihdunnasta johtuvaa fraktioitumista, kuin pohjavesinäytteissä. Pohjavesistä otetuista näytteistä varsinkin Ristikankaan ja Kärjenkoski A:n näytteet asettuivat hyvin lähelle Suomen LMWL-suoraa sekä Suomen pohjavesisuoraa. Hurttakankaan ja Kaskelankankaan näytteet asettuivat hieman suorien alapuolelle. Lapväärtin-Isojoen pohjavesisuoran kulmakerrointa pienentää hieman Kaskelankankaan pohjavesialueelta otettu näyte.



Kuva 14. Lapväärtin-Isojoen pohjavesisuora. Vertailuna GMWL-suora (Clark & Fritz 1997), Suomen LMWL-suora (Kyllönen 2018) sekä Suomen pohjavesisuora (Kortelainen & Karhu 2004).

Kaskelankankaan pohjavesinäyte otettiin noutimella lähdekaivosta (Kuva 15), joka voi mahdollisesti selittää sen pohjavesisuoran kulmakerrointa pienentävän vaikutuksen, sillä haihtumista ja veden isotooppien fraktioitumista on voinut tapahtua kaivon pintaveden kautta.

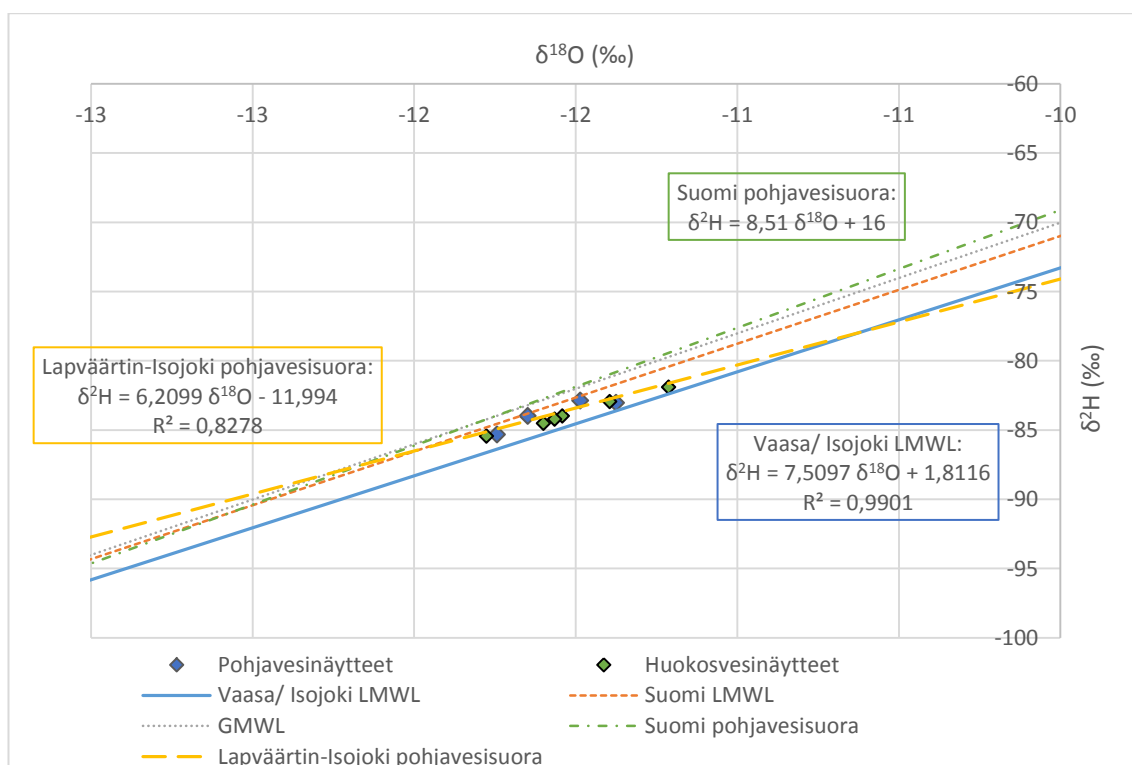


Kuva 15. Kaskelankankaan pohjavesinäytteen lähdekaivo (kuva: Tilda Rantataro, 2018).

Huokosvesinäytteistä analysoitiin vain veden stabiilit isotoopit (taulukko 5). Huokosvesinäytteissä $\delta^{18}\text{O}$:n arvot sijoituivat välille -11,78...-11,21‰ keskiarvolla -11,51‰. $\delta^2\text{H}$:n arvot sijoituivat välille -85,44...-81,90‰ keskiarvolla -83,83‰. Keskiarvot eroavat näin ollen vain muutaman sadasosan pohjavesinäytteiden isotooppiarvoista ja kaikki huokosvesinäytteet asettuivat hyvin lähelle Lapväärtin-Isojoen pohjavesisuuraa (Kuva 16).

Taulukko 5. Huokosvesinäytteiden isotooppiarvot

Näyte	Pohjavesialue	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]
Huokosvesi 1	Kaskelankangas	-11,40	-82,95
Huokosvesi 2	Korkiaharju	-11,78	-85,44
Huokosvesi 3	Kortesmäki	-11,54	-83,98
Huokosvesi 4	Hurttakangas	-11,57	-84,21
Huokosvesi 5	Rimpikangas	-11,60	-84,52
Huokosvesi 6	Jätinmäki	-11,21	-81,90
keskiarvo		-11,51	-83,83



Kuva 16. Huokosvesinäytteiden sijoittuminen suorien suhteen.

5.1.3 Pintavesinäytteet

Järvivesissä $\delta^{18}\text{O}$:n keskiarvo oli $-5,76$ ‰, $\delta^2\text{H}$:n keskiarvo oli $-56,66$ ‰ ja piidioksidipitoisuuksien keskiarvo oli $2,19$ mg/l (taulukko 6).

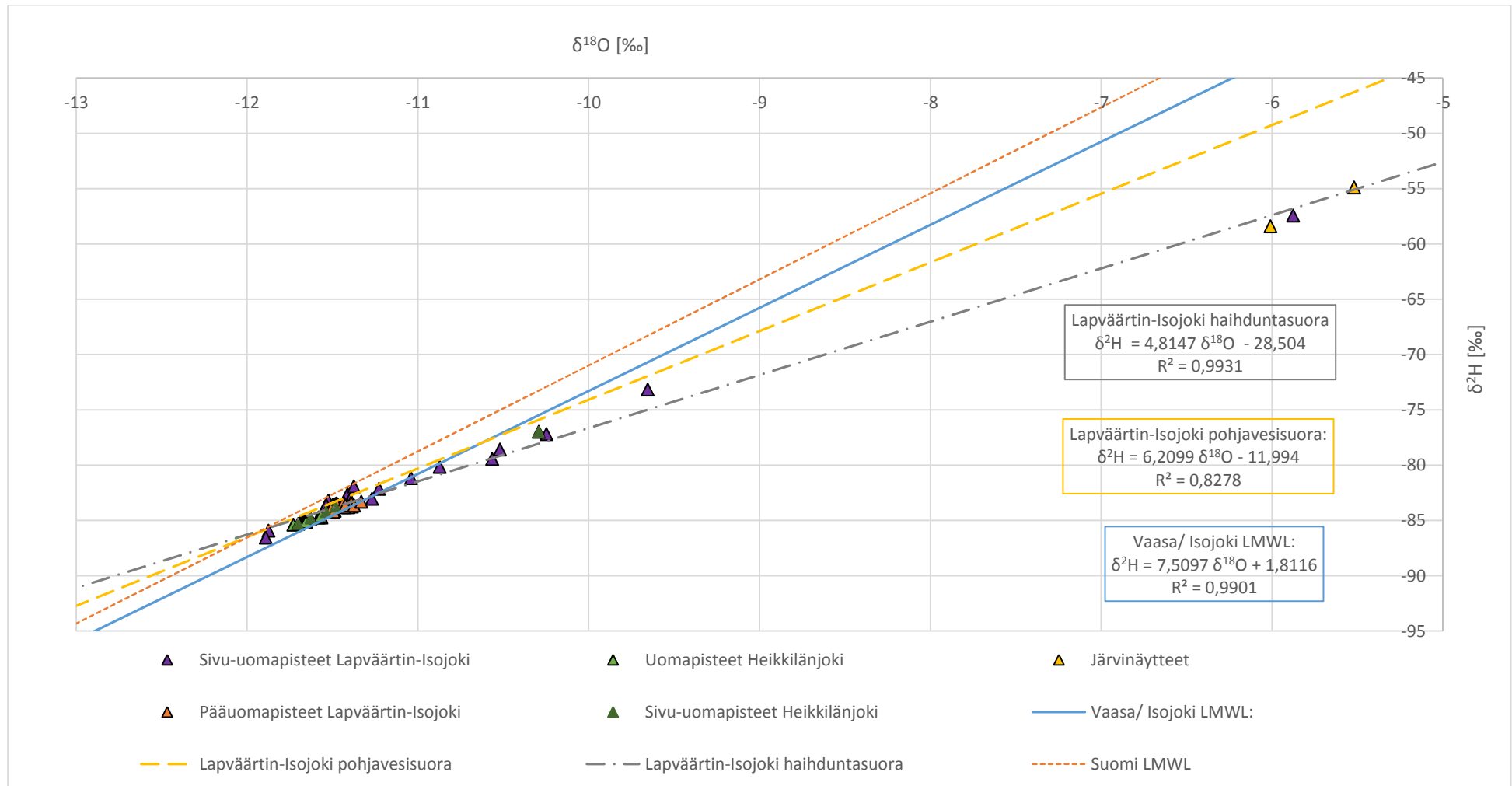
Taulukko 6. Kenttämittausten aikana näytteenottoalueelta otettujen järvivesien tutkitut isotooppi- ja piidioksidiarvot.

Näyte	Näytteenottopaikka	Näytteen-otto pvm.	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	SiO_2 [mg/l]
Pintavesi	Pohjasjärven laskuoja (Pohjasoja)	15.8.2018	-6,01	-58,41	4,2
Pintavesi	Kangasjärvi	15.8.2018	-5,52	-54,90	0,18
keskiarvo			-5,76	-56,66	2,19

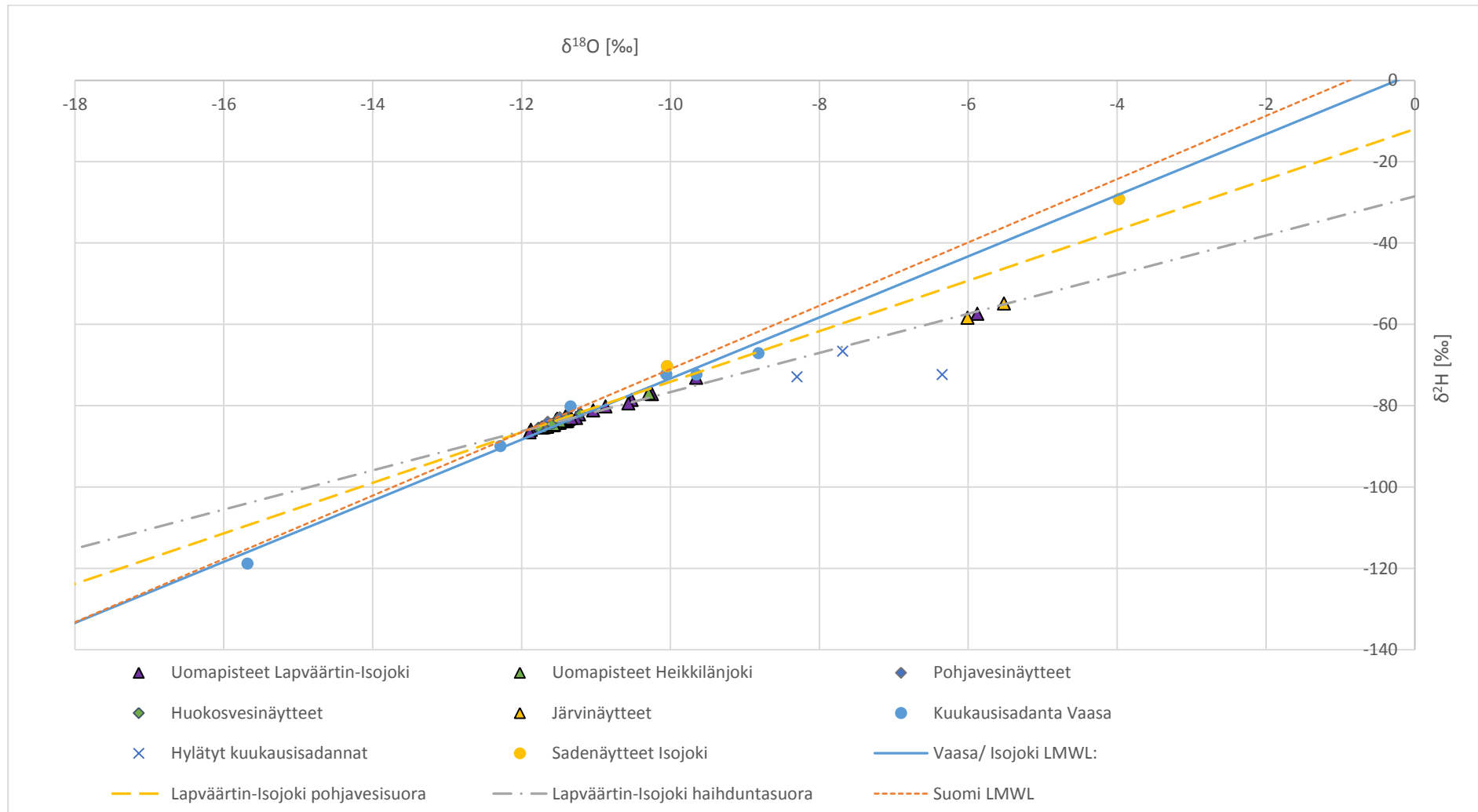
Lapväärtin-Isojoen haihduntasuora tehtiin järvinäytteille ja jokivesistä otetuille näytteille (yhtälö 11, Kuva 17).

$$\delta^2\text{H} = 4,8147 \delta^{18}\text{O} - 28,504 \quad (11)$$

Haihduntasuoralla oli huomattavasti pienempi kulmakerroin kuin pohjavesisuoralla ja LMWL-suoralla, sillä siinä näkyi haihdunnan aiheuttama isotooppien fraktioituminen. Suurin osa uomapisteistä sijoittui hyvin lähelle toisiaan ja analysoituja pohjavesinäytteitä (Kuva 18). Hajontaa uomanäytteiden osalta oli vain sivu-uomista otetuissa näytteissä. Järvinäytteet erosivat jokinäytteistä huomattavasti. Tämä johtuu siitä, että järvistä pääsee tapahtumaan paljon pintahaihduntaa. Tulosten perusteella varsinkin pääuomista otetuissa näytteissä näkyi korkea pohjavesivaikuteisuus.



Kuva 17. Lapväärtin-Isojoen haihduntasuora. Vertailuna paikallinen LMWL- ja pohjavesisuora sekä Suomen LMWL-suora (Kyllönen 2018).



Kuva 18. Kaikkien isotooppinäytteiden sijoittuminen paikallisille LMWL-, haihdunta- ja pohjavesisuorille sekä Suomen LMWL-suoralle (Kyllönen 2018).

5.2 Pohjavesinäytteiden ravinteet ja muut laatuparametrit

Pohjavesinäytteiden mitatut ravinnearvot poikkesivat toisistaan nitraattitypen osalta melko paljon, arvojen ollen välillä 97-1400 µg/l (taulukko 7). Kärjenkosken ja Hurttakankaan ravinnepitoisuudet olivat nitraattitypen osalta huomattavasti korkeammat kuin muissa näytteissä, vaikka kaikki näytteet otettiin saman päivän aikana. Hurttakankaalla myös fosfaattifosforipitoisuus oli suurempi kuin muissa. Ammoniumtyyppipitoisuudet olivat kaikissa näytteissä hyvin pienet, alle 4 µg/l.

Taulukko 7. Pohjavesinäytteiden ravinteet. Nitraattityppi ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammoniumtyppi ($\text{NH}_4\text{-N}$) sekä fosfaattifosfori ($\text{PO}_4\text{-P}$).

Pohjavesialue	Vedenottamo	Näytteen ottopaikka tarkennus	$\text{NO}_3\text{-N}$ [µg/l]	$\text{NH}_4\text{-N}$ [µg/l]	$\text{PO}_4\text{-P}$, kokonais- [µg/l]
Kärjenkoski A	Kärjenkosken vesiosuuskunta	Pohjavedenottamon raakavesihanasta	1400	<4	4,3
Ristikangas	Jokiranta/ Vanhakylän vesiosuuskunta Lähde	Pohjavedenottamon raakavesihanasta	170	<4	11
Hurttakangas	Kujala / Isojoen kunnan vesihuoltolaitos	Pohjavedenottamon raakavesihanasta	1300	<4	20
Kaskelankangas	Yhtymä Vesipolvi	Noutimella lähdekaivosta	97	<4	13

Muiden mitattujen parametrien osalta (taulukko 8) pohjavesinäytteiden tulokset olivat melko lähellä toisiaan. Poikkeuksena Kaskelankankaan pohjavesialueen rautapitoisuus, joka on suurempi kuin muilla näytteillä, sekä Kärjenkoski A:n muita pienempi happipitoisuus ja hapen kyllästysprosentti.

Taulukko 8. Pohjavesinäytteistä mitattu suodatettu väriluku, COD_{Mn}, mangaani (Mn), rauta (Fe), pH, alkaliniteetti, happipitoisuus (O₂) sekä hapen kyllästysprosentti.

Pohjavesialue	Vedenottamo	Näytteen ottopaikka tarkennus	väriluku, suodatettu 0,45 [mg Pt/l]	COD _{Mn} [mg/l]	Mn [µg/l]	Fe [µg/l]	pH	Alkaliniteetti (Gran- menetelmä) [mmol/l]	O ₂ [mg/l]	Hapen kyllästysprosentti [%]
Kärjenkoski A	Kärjenkosken vesiosuuskunta	Vedenottamon raakavesihanasta	0,31	< 0,5	< 3	< 10	7,2	0,56	3	25
Ristikangas	Jokiranta/Vanhakylän vesiosuuskunta Lähde	Vedenottamon raakavesihanasta	0,25	0,51	< 3	< 10	7,6	0,81	8,5	68
Hurttakangas	Kujala / Isojoen kunnan vesihuoltolaitos	Vedenottamon raakavesihanasta	0,11	< 0,5	< 3	< 10	7,5	0,69	7	59
Kaskelankangas	Yhtymä Vesipolvi	Noutimella lähdekaivosta	1,2	< 0,5	3	150	7,1	0,21	6,1	48

5.3 Pohjaveden purkautuminen Lapväärtin-Isojoella ja Heikkilänjoella

5.3.1 Lapväärtin-Isojoen pääuoman ja sivu-uomien pohjavesivaikutteisuus

Isotooppinäytteet ja muut vesianalyysinäytteet otettiin Isojoelta ja sen sivu-uomista 13.-16.8.2018. Tänä aikana ei satanut, joten sateen isotooppikoostumuksella ei ollut vaikutusta näytteenoton tuloksiin. Virtaamat mitattiin 12.-21.8.2018. Alueella satoi tänä aikana 17.8. ja 18.8., joten mittauspisteiden 1-9 (mitattu 12.8.2018) ja 10-29 (mitattu 17.8.-21.8.2018) välillä saattaa tämän vuoksi sateesta johtuvaa eroa virtaamassa. Isotooppianalyysin perusteella molempien isotooppien delta-arvot pääuomissa piirtävät hyvin samanlaisen käyrän (liite 7 ja liite 8). Selvyiden vuoksi tässä tulososiossa keskitytään tulkitsemaan isotoopin osalta pelkästään $\delta^{18}\text{O}$ -arvoja.

Taustänäytteiksi otetuissa pohjavesinäytteissä hapen isotoopin $\delta^{18}\text{O}$:n keskiarvo oli noin -11,56‰ (taulukko 4) ja Vaasassa otettujen sadannan kuukausinäytteissä (taulukko 3) -10,02‰ ja Isojoella kenttämittauskauden aikana kerättyjen sadenäytteiden $\delta^{18}\text{O}$:n keskiarvo oli -7,01‰. Järvistä otettujen pintavesinäytteiden hapen isotoopin (taulukko 6) keskiarvo oli -5,76‰. Lisäksi kenttämittaukset toteutettiin kesällä, jolloin sateen isotooppien delta-arvot saavat vähemmän negatiiviset tulokset kuin talvella. Tuloksista voidaan arvioida, että pohjavesisignaali uoman vedessä on sitä voimakkaampi, mitä negatiivisempi $\delta^{18}\text{O}$ -arvo on kyseessä. Piidioksidipitoisuuksien suhteen pohjavesisignaali on sitä voimakkaampi, mitä enemmän piidioksidia näytteessä on.

Isojoen pääuomassa hapen isotoopin $\delta^{18}\text{O}$ -arvot vaihtelivat välillä -11,52...-11,33‰ (Kuva 19). Erot olivat hyvin pieniä ja osa eroista voi johtua myös analysoinnin virheestä. Pääuoman kaikkien näytteiden isotooppiarvot asettuivat lähelle pohjaveden isotooppiarvoja, haihduntasuoran ja alueen LMWL-suoran leikkauskohdan tuntumaan, joten pääuomassa virtaavassa vedessä pohjaveden osuus oli isotooppianalyysin perusteella suuri koko näytteenottomatkalta (Kuva 17).

Lapväärtin-Isojoen pääuoman piidioksidiarvoissa vaihteluväli oli 8,8...16,0 mg/l (Kuva 21). Pohjavesinäytteiden piidioksidipitoisuuden keskiarvo oli 19,75 mg/l, eli jonkin verran korkeampi (Taulukko 4). Järvinäytteistä otettujen piidioksidipitoisuuksien keskiarvo oli 2,19 mg/l (Taulukko 6). Isojoen pääuoman piidioksidipitoisuus sijoittui siis pohjavesinäytteiden ja järvinäytteiden tulosten väliin, lähelle pohjavesinäytteiden arvoja, joka vahvistaa isotooppien perusteella arvioitua uoman korkeaa

pohjavesivaikutteisuutta. Pääuomassa virtaavan veden korkea pohjavesivaikutteisuus voi selittyä osaltaan sillä, että näytteenotto on tapahtunut alivirtaamakaudella, ja lisäksi vuoden 2018 kesä oli kuivempi kuin keskimäärin (Kuva 6). Kuivan kauden aikaan pohjaveden osuus uomassa korostuu, kun uomaan tulee vain vähän maa- ja pintavesivaluntaa.

On myös luonnollista, että pohjavesivaikutteisuus Lapväärtin-Isojoen pääuomassa on varsinkin joen alkupäässä korkea, sillä se saa alkunsa Lauhanvuoren kansallispuiston lähteistä (Nuotio 2008, s. 46). Pohjavesipurkaumasta alkunsa saava jokivesi kokoaa uomaansa vettä alajuoksulle edetessään joko sadannan, pinta- ja maavalunnan tai pohjavesivalunnan kautta. Mikäli pintavaluntaa jokeen on paljon, jokivesi muuttuu sen seurauksena lähemmäs sadeveden isotooppipitoisuuksia ja piidioksidipitoisuus uomassa laskee. Mikäli taas pohjavesivaluntaa on paljon, nostaa se isotooppipitoisuuksia joessa lähemmäs pohjaveden isotooppipitoisuuksia ja piidioksidipitoisuus yleensä kasvaa. Jokivedessä, joka virtaa avouomassa, tapahtuu myös isotooppien fraktioitumista muun muassa haihdunnan seurauksena, jolloin isotooppiarvot sijoittuvat lähemmäs haihduntasuoraa.

Pääuoman isotooppiarvot pysyivät tasaisen korkeina kilometrille 19 saakka. Tämän jälkeen pohjavesisignaali heikkeni tasaisesti kohti uoman loppupäätä, pois lukien kilometrien 21 ja 26 kohdilla pääuomassa näkyvät yksittäiset pohjavesisignaalin nousut. Myös Isojoen pääuoman piidioksidipitoisuus kohosi ensimmäisellä 16 kilometrin osuudella, jonka jälkeen pitoisuudet kääntyivät laskuun. Kuten aiemmin mainittiin, jokiveden korkea pohjavesivaikutteisuus uoman alkupäässä voi johtua pohjavesipurkaumasta, josta se saa alkunsa. Isotooppien pohjavesisignaali alkoi heiketä alavirtaa kohti mentäessä, sillä jokeen tulee myös pintavesivaluntaa ja vettä haihtui avouomassa. Isotooppien ja piidioksidipitoisuuden perusteella pohjavesisignaali pysyi kuitenkin voimakkaana ensimmäisen 16 kilometrin osuudella ja pohjavesisignaalin voimistumista oli havaittavissa erityisesti niissä kohdissa, joissa pääuoma virtasi pohjavesialueiden läpi. Tämä viittaa siihen, että pohjavesivaikutteisuus pysyi ensimmäisen 16 kilometrin matkalla korkeana, sillä joki virtasi useiden pohjavesialueiden läpi ja pohjavettä pääsi purkautumaan jokeen pohjavesialueilta. Pohjavesialueiden jälkeen myös jokiveden pohjavesisignaali alkoi heiketä. Pääuomassa on poikkeus noin kilometrin 16 sekä erityisesti kilometrin 26 kohdalla, kun pohjavesisignaali voimistui isotooppien sekä piidioksidin perusteella, vaikka pääuoma

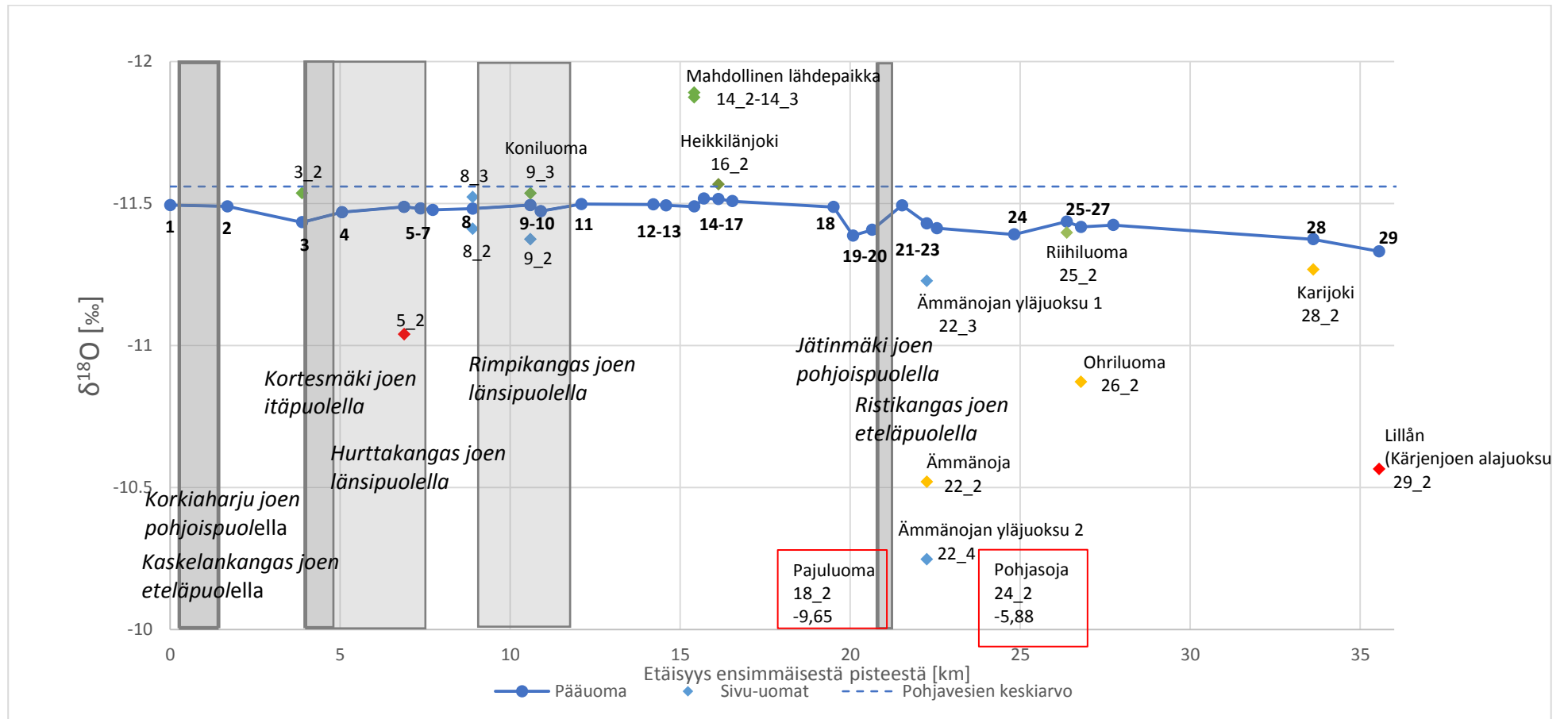
ei virtaa luokitellun pohjavesialueen läpi. Tarkempi yksittäisten pohjavesialueiden tarkastelu käydään läpi tämän diplomityön luvussa 5.3.3.

Sivu-uomien isotooppi- ja piidioksidiarvoissa oli suurempaa vaihtelua kuin pääuomassa. Tarkasteltaessa sivu-uomien isotooppi ja piidioksidiarvoja, pääuomaa suurempi pohjavesisignaali niin isotooppien kuin piidioksidinkin perusteella on ojassa (piste 3_2), joka laskee pääuomaan ennen Hurttakankaan ja Kortesmäen pohjavesialueita (-11,54‰, 18 mg/l), Koniluomassa (-11,54‰, 24 mg/l) sekä purossa (pisteet 14_2- 14_3), joka laskee Isojokeen (-11,89...-11,87‰, 30-32 mg/l). Sivuuomien tuoma pohjavesisignaalin kasvu näkyi myös pääuomassa erityisesti sivu-uoman 14_2 jälkeen. Pohjavesisignaali oli hyvin korkea myös Heikkilänjoen (-11,57‰, 14 mg/l) ja Riihiluoman (-11,40‰, 19 mg/l) näytepisteissä, vaikka ne eivät molempien pohjavesi-indikaattoreiden mukaan ylittäneetkään pääuoman pohjavesisignaalia.

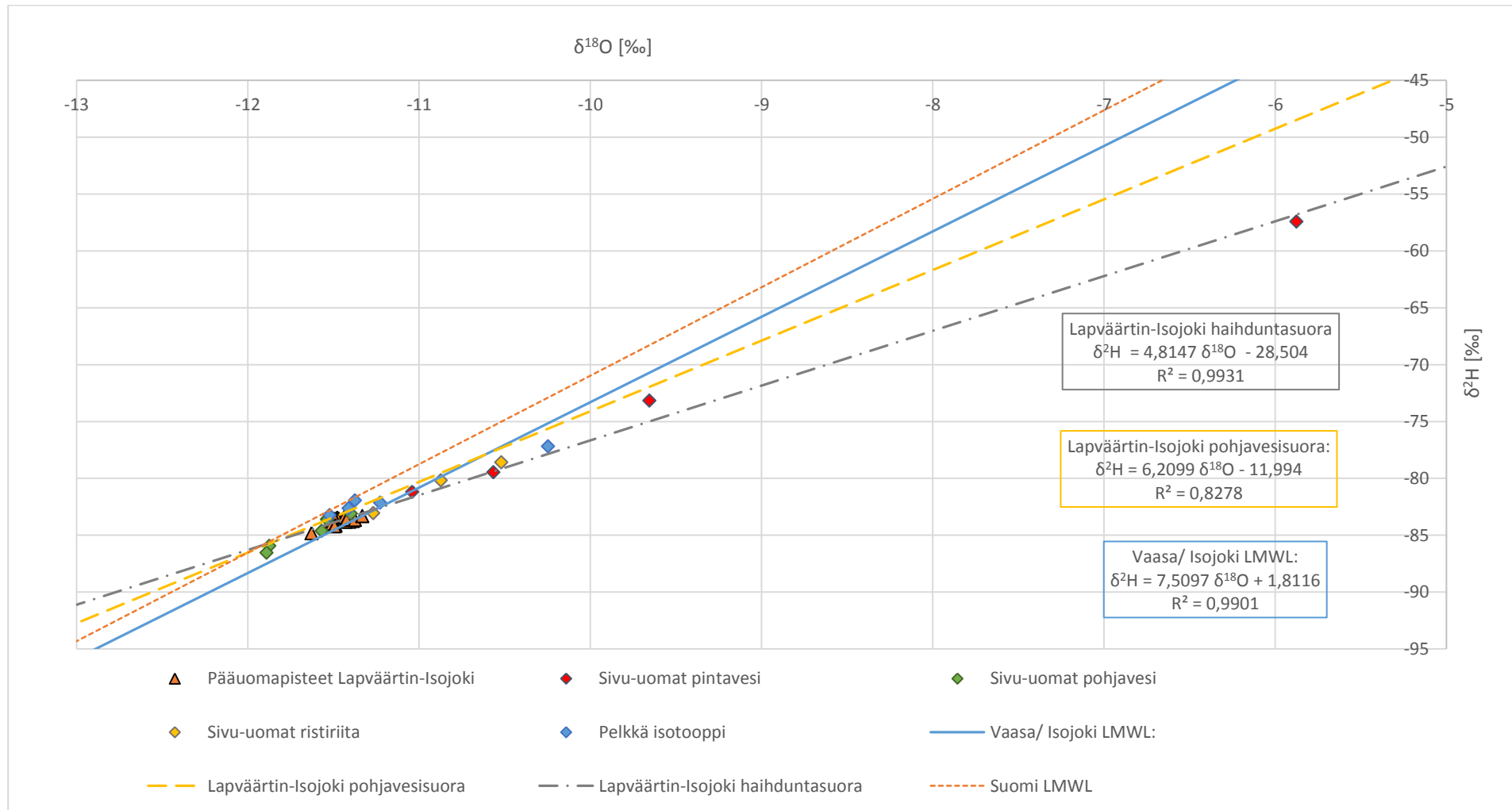
Isotooppien sekä piidioksidin perusteella pintavettä toi pääuomaan neljä sivu-uomaa: oja tai puro (piste 5_2) (-11,04‰, 11 mg/l), Pajuluoma (-9,65‰, 7,5 mg/l), Pohjasoja (-5,88‰, 3,7 mg/l) ja Lillån (-10,57‰, 8,7 mg/l). Näistä Pohjasojan ja Lillån näytteet sijoittuivat isotooppien perusteella selvästi haihduntasuoralle, LMWL- ja pohjavesisuorien alapuolelle. Näytepiste 5_2 asettui isotooppien perusteella haihduntasuoran yläpuolelle, paikalliselle LMWL-suoralle ja Pajuluoman piste pohjavesisuoran ja haihduntasuoran väliin (Kuva 20). Näissä myös piidioksidipitoisuus oli suurempi kuin Pohjasojasta otetussa näytteessä. Pohjavesivaikutteisuutta oli siis havaittavissa myös näissä näytteissä, vaikka pohjavesisignaali ei ollutkaan niin suuri kuin muissa näytteissä. Pisteistä 8_2, 8_3, 22_3 ja 22_4 ei mitattu piidioksidipitoisuutta vaan ainoastaan isotooppi. Isotooppien perusteella näistä ainoa, joka sijoittui selvästi lähemmäs haihduntasuoraa, oli piste 22_4.

Kilometrin 16 jälkeen osa piidioksidiarvojen pohjavesisignaalista oli ristiriidassa isotooppiarvojen pohjavesisignaalin kanssa. Ämmänojan (-10,52‰, 20 mg/l), Ohriluoman (-10,87‰, 24 mg/l) sekä Karijoen (-11,27‰, 15 mg/l) isotooppiarvot antoivat pääuomaa pienemmän pohjavesisignaalin, mutta piidioksidipitoisuudet olivat suuremmat kuin pääuomassa. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että vesi on virrannut sivu-uomassa pitkän matkan ja kerännyt maaperästä samalla piidioksidia. Toisaalta vesi on voinut alun perin myös olla pohjavettä, joka on purkautunut sivu-uomaan ja isotooppien suhteellinen osuus on muuttunut, kun vettä on päässyt haihtumaan, eli se on

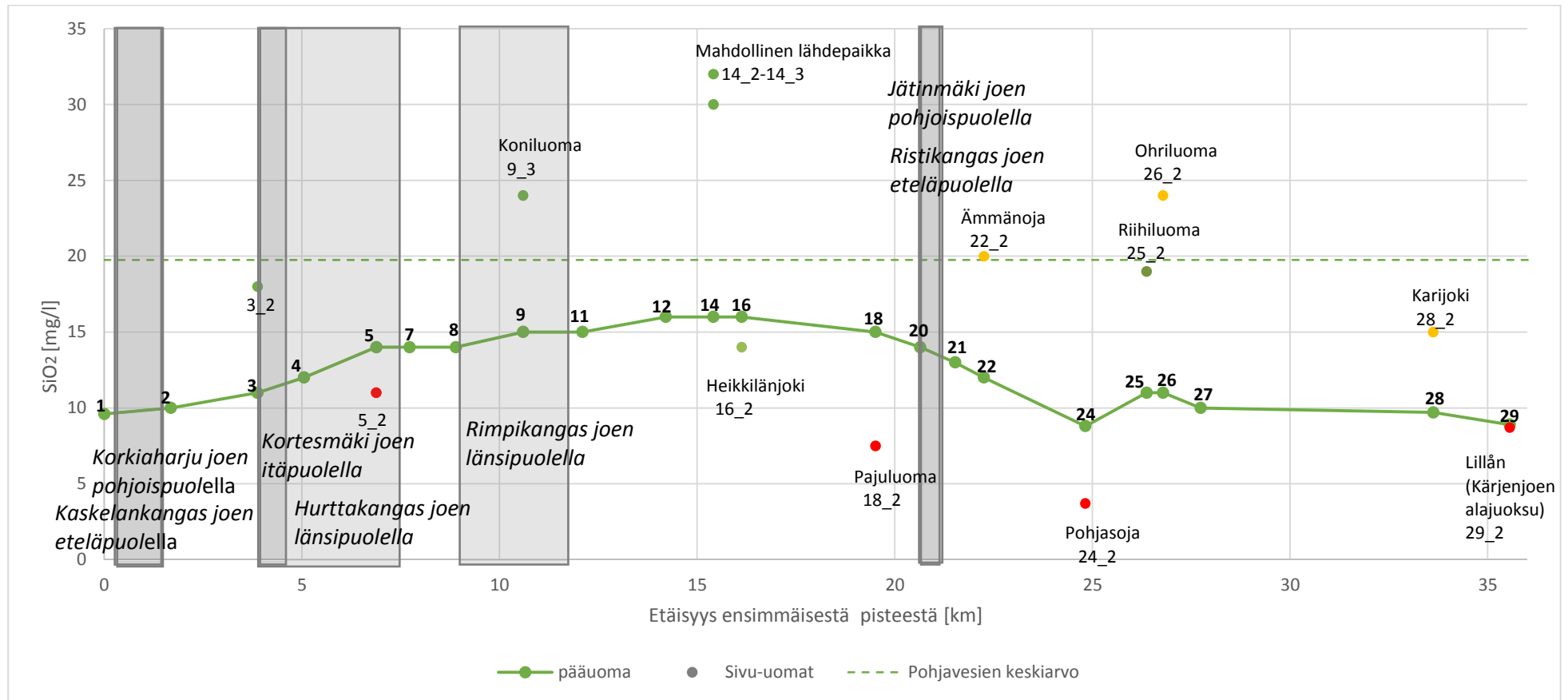
fraktioitunut uomassa virratessaan. Kaikkien kolmen isotooppitulokset asettuivat haihduntasuoralle, mutta Karijoen piste asettui haihduntasuoran ja paikallisen LMWL-suoran risteyskohtaan, joten sen isotooppikoostumus on lähimpänä pohjavettä.



Kuva 19. Isojoen pääuoman ja sivuhaarojen veden stabiilit isotooppiarvot. Isojoen pääuoman näytteenottopisteet on merkattu jatkuvalla viivalla ja sivu-uomat pisteinä. Vihreällä on merkitty sivu-uomat, joissa isotooppi- ja piidioksidiarvot osoittavat vahvaa pohjavesisignaalia, punaisissa pohjavesisignaali on heikko ja keltaisissa on ristiriitoja isotooppi- ja piidioksidiarvojen välillä. Sinisellä merkityistä sivu-uomista on mitattu ainoastaan isotooppiarvot. Katkoviivalla on esitetty pohjavesinäytetulosten keskiarvo. Pohjavesialueet on merkitty kuvaan harmaina palkkeina siinä kohdalla, jossa ne ovat yhteydessä pääuomaan. $\delta^{18}\text{O}$ -arvot on esitetty kuvassa ylöspäin kasvavina negatiivisina arvoina.

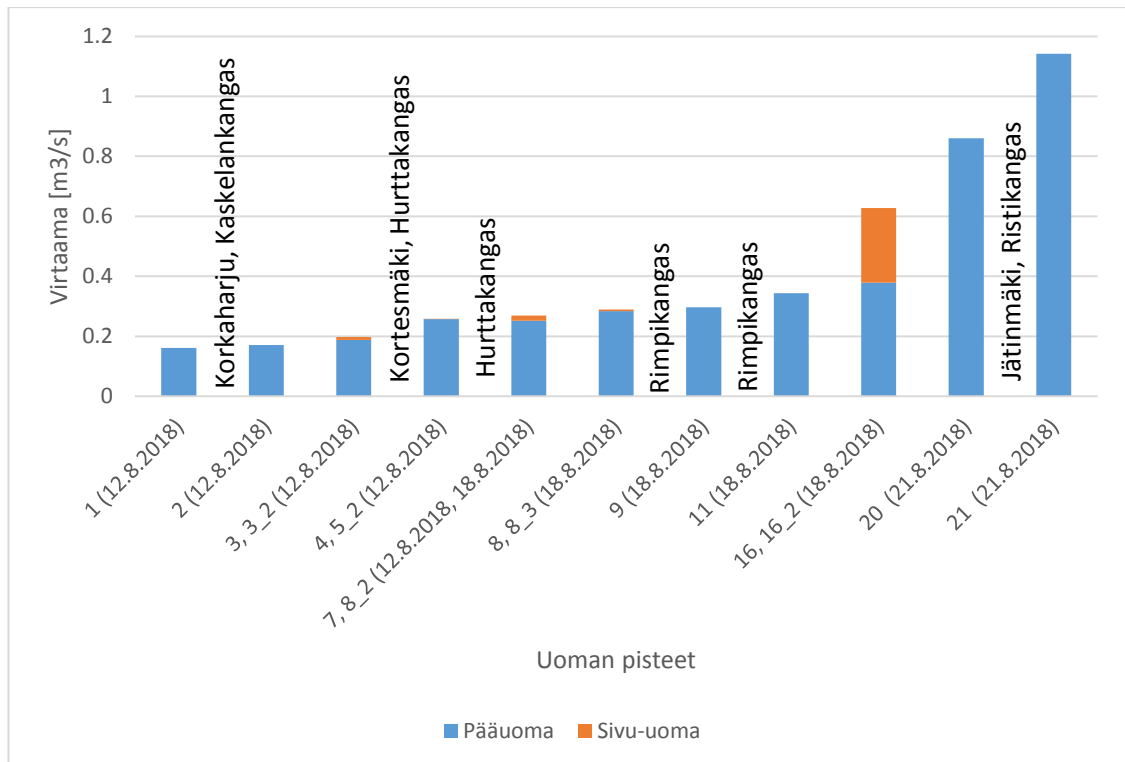


Kuva 20. Lapväärtin-Isojoen näytepisteiden isotooppitulosten sijoittuminen muodostettujen paikallisten suorien sekä sekä Suomen LMWL-suoran (Kyllönen 2018) suhteen.



Kuva 21. Isojoen pääuoman ja sivu-uomien piidioksidiarvot. Isojoen pääuoman näytteenottopisteet on merkattu jatkuvalla viivalla ja sivu-uomat pisteinä. Katkoviivalla on esitetty pohjavesinäytetulosten keskiarvot. Vihreällä on merkitty sivu-uomat, joissa isotooppi- ja piidioksidiarvot osoittavat vahvaa pohjavesisignaalia, punaisissa pohjavesisignaali on heikko ja keltaisissa on ristiriitoja isotooppi- ja piidioksidiarvojen välillä. Pohjavesialueet on merkitty kuvaan harmaina palkkeina siinä kohdalla, jossa ne ovat yhteydessä pääuomaan.

Lapväärtin-Isojoen virtaamamittausten (Kuva 22) perusteella virtaama kasvoi melko tasaisesti alavirtaan kulkiessa, mutta kasvu ei selittynyt pelkästään pääuomaan laskevien, mitattujen sivu-uomien virtaamalla. Sivuuomien virtaamat olivat suhteellisen pieniä pääuoman virtaamaan verrattuna, pois lukien Heikkilänjoen virtaama (piste 16_2). Koska sivu-uomien virtaamat olivat pieniä, pääuoman virtaaman kasvu voi selittyä pohjaveden purkautumisella pääuomaan. Viimeisten kolmen pisteen (16, 20 ja 21), välillä oli suurempaa virtaaman kasvua. Pisteiden 16 ja 20 välillä on suhteellisen pitkä välimatka, noin 5 kilometriä, josta virtaamia ei ole mitattu. Viimeiset pisteet 20 ja 21 on myös mitattu eri menetelmällä kuin muut virtaamat. Virtaaman kasvu on kuitenkin niin merkittävä, ettei se todennäköisesti selity pelkästään mittausten virheellä.

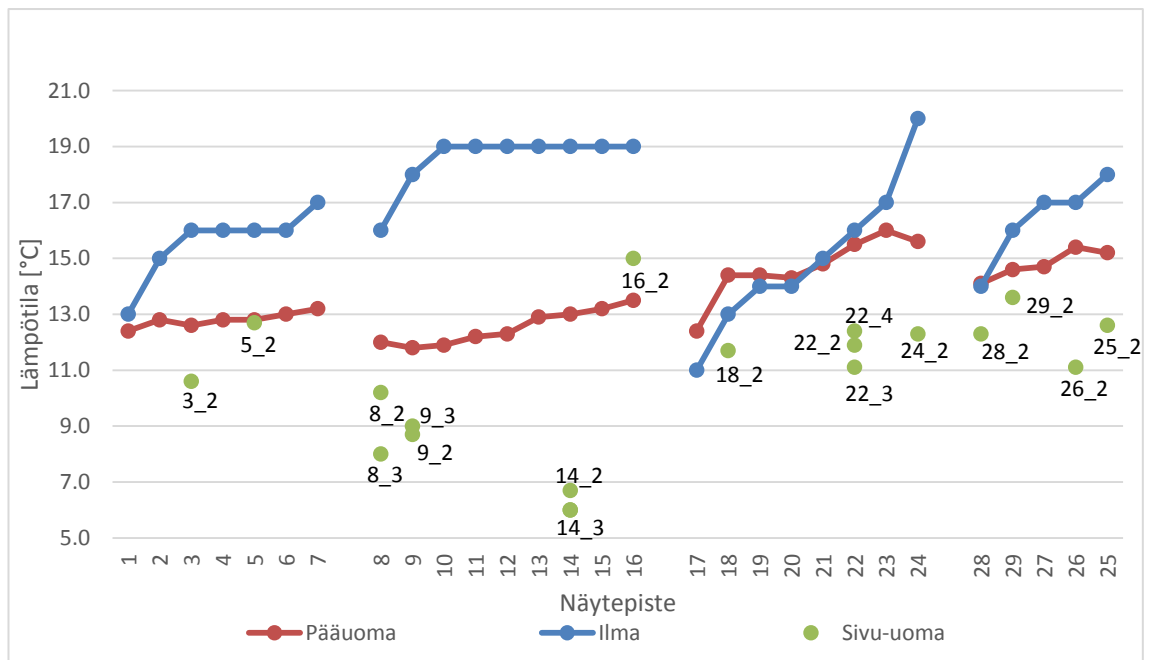


Kuva 22. Graafi Isojoen pääuoman ja sivu-uomien virtaamamittauksen tuloksista. Sinisellä pylväällä on merkitty pääuomasta mitattu virtaama ja oranssilla sivu-uomista mitatut virtaamat. Niiden yhteenlaskettu virtaaman suuruus heti sivu-uoman ja pääuoman yhdistyessä, on siis koko pylvään korkeus.

Mitatuista veden lämpötiloista ei voitu suoraan päätellä pohjavesivaikutteisuutta, sillä on otettava huomioon, että myös ilman lämpötila vaikuttaa pintaveden lämpötilaan. Yleensä kesäisin aamulla vesi on kylmempää kuin iltapäivällä, koska edellisen yön kylmempi lämpötila vaikuttaa siihen vielä ja päivällä ilman lämmitessä lämpenee myös

vesi. Tämän vuoksi kuvassa 22 esitetyt pisteet ja niiden lämpötilat ovat ottamisjärjestyksessä, eivätkä välttämättä uomassa olevan järjestyksen mukaisia. Jotta lämpötilagraafi olisi selkeämpi ja helpommin hahmotettavissa, olisi uomapisteiden lämpötilat ollut hyvä ottaa oikeassa järjestyksessä yläjuoksulta alajuoksulle ja mielellään saman päivän aikana. Nyt lämpötilat mitattiin samaan aikaan kun otettiin muut vesinäytteet ja näytteenotot tapahtuivat uoman alajuoksulla pisteiden 25-29 osalta sekalaisessa järjestyksessä. Tämän vuoksi varsinkaan lämpötiloja pisteistä 25-29 ei voi pelkästään käyttää eri tutkimuspisteiden vertailuun, vaan ne ovat ainoastaan isotooppi- ja piidioksiditulosten sekä virtaamamittaustulosten tukena varsinkin sivu-uomia tutkittaessa.

Päivän mittaan lämpötilat pääuomassa kohosivat tasaisesti ilman lämpötilan kohotessa (Kuva 23). Kaikissa sivu-uomissa Heikkilänjoen sivu-uomaa (piste 16_2) lukuun ottamatta veden lämpötila oli kylmempi kuin pääuomassa. Lämpötilat kuitenkin vahvistivat isotooppien ja piidioksidin lisäksi sen, että sivu-uoman 3_2 virtaamassa on suhteessa enemmän pohjavettä kuin uoman 5_2 virtaamassa. Uoma 8_3 oli lämpötilojen perusteella olevan pohjavesivaikutteisempi kuin uoma 8_2. Sivuuoma 14_2 oli lämpötilan perusteella hyvin pohjavesivaikutteinen, joka vahvistaa muiden analyysien tuloksia.



Kuva 23. Isojoen pääuomassa ja sivu-uomissa mitatut veden sekä ilman lämpötilat vesinäytteiden näytteenottohetkenä. Pääuoman tulokset on esitetty jatkuvana viivana ja sivu-uomat pisteinä. Lämpötilat on esitetty aikajärjestyksessä näytteenottohetken mukaan.

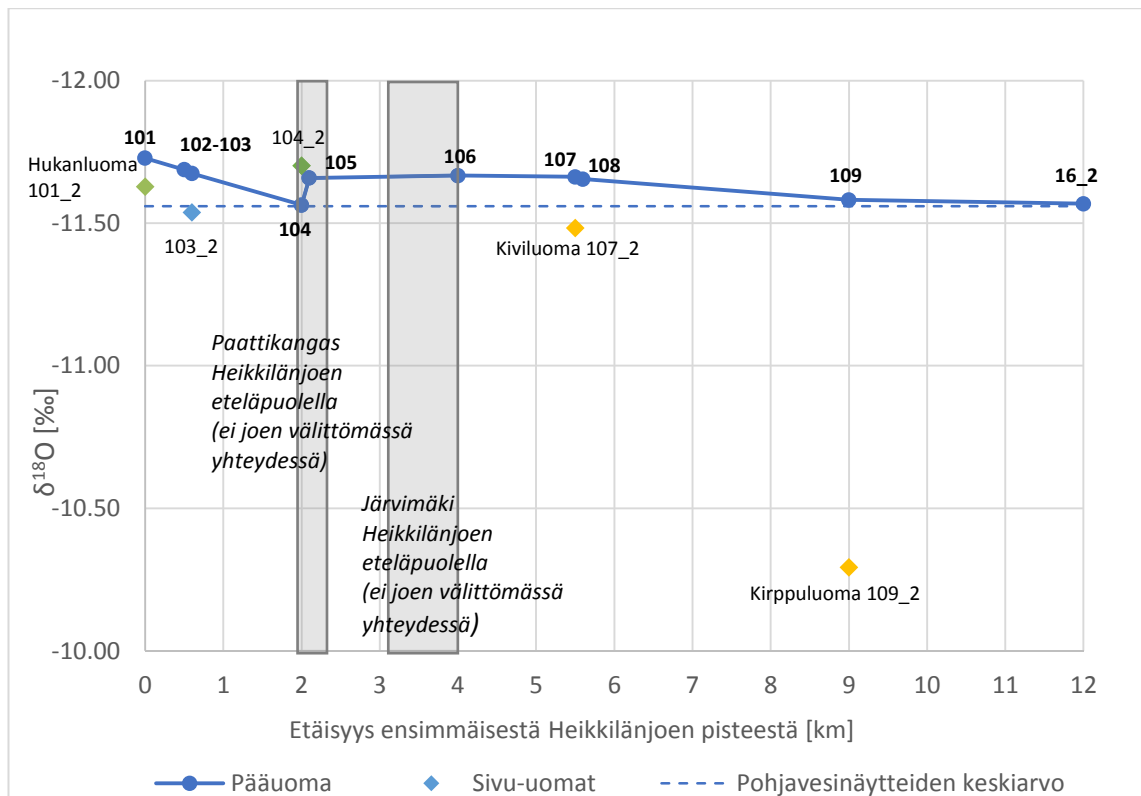
5.3.2 Heikkilänjoen pääuoman ja sivu-uomien pohjavesivaikutteisuus

Heikkilänjoen pääuoman $\delta^{18}\text{O}$ -arvoissa (Kuva 24) oli keskimäärin korkeampi pohjavesisignaali kuin Lapväärtin-Isojoen pääuomassa (Kuva 19). Lapväärtin-Isojoen pääuomassa $\delta^{18}\text{O}$:n arvot sijoittuivat välille -11,33‰...-11,52‰, kun taas Heikkilänjoen pääuomassa välille -11,56‰...-11,73‰. Pohjavesinäytteiden $\delta^{18}\text{O}$ keskiarvo oli -11,56‰ (Taulukko 4), joten Heikkilänjoen pääuomassa $\delta^{18}\text{O}$ -arvot olivat siis jopa negatiivisempia kuin pohjavesinäytteiden keskiarvo. Pohjavesinäytteistä Hurttakankaalla oli negatiivisin $\delta^{18}\text{O}$ -arvo (-11,74‰), ja Heikkilänjoen negatiivisin $\delta^{18}\text{O}$ -arvo sijoittuikin lähelle tätä. Piidioksidiarvot Heikkilänjoella vaihtelivat välillä 14-16 mg/l (Kuva 26). Heikkilänjoen piidioksidiarvot olivat siis keskimäärin suurempia ja vaihtelevuus pienempi kuin Lapväärtin-Isojoen pääuomassa, jossa arvot sijoittuvat välille 8,8-16 mg/l.

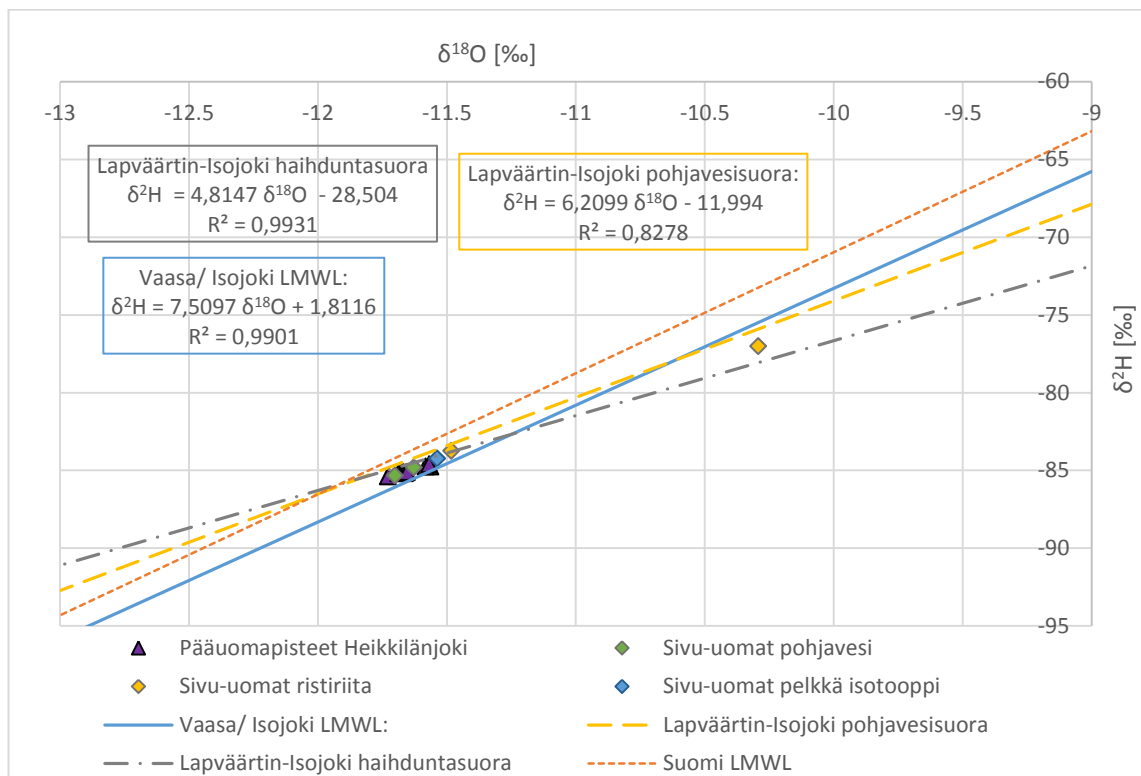
Heikkilänjoen pääuoman ylävirrassa, ensimmäisten näytteenottopisteiden kohdalla, oli $\delta^{18}\text{O}$ -arvojen mukaan suhteessa eniten pohjavettä, kun taas piidioksidiarvot olivat korkeimmillaan vasta Järvimäen ja Paattikankaan pohjavesialueiden jälkeen. Heikkilänjoen pääuoman $\delta^{18}\text{O}$ -arvot muuttuivat positiivisemmiksi eli pohjavesisignaali heikkeni näytteidenoton alkupäästä joen yläjuoksulta noin kilometrille 2, eli näytteeseen 104, saakka. Tämän jälkeen isotooppien sekä piidioksidin pohjavesisignaali suureni ja lähti laskuun taas kilometrin 4, eli tutkimuspisteen 106, jälkeen. $\delta^{18}\text{O}$ -arvoissa ja piidioksidissa näkyi siis molemmissa nousu Paattikankaan ja Järvimäen pohjavesialueiden kohdalla, joista kumpikaan ei ole kuitenkaan Heikkilänjoen pääuoman välittömässä yhteydessä. Vaikka Paattikankaan pohjavesialue ei ole uoman välittömässä yhteydessä, laskee sen kohdalla Heikkilänjoen pääuomaan isotooppien, piidioksidin ja lämpötilan (Kuva 28) perusteella pääuomaa pohjavesivaikutteisempi sivu-uoma 104_2, joka karttakuvan (Kuva 29) perusteella tuo vettä Heikkilänjokeen todennäköisesti Paattikankaan pohjavesialueelta. Tämän sivu-uoman virtaama oli virtaamamittausten (Kuva 27) perusteella jopa pääuomaa suurempi, joka selittää osaltaan pohjavesisignaalin jyrkkää kasvua isotooppiarvoissa. Isotooppien pohjavesisignaali pysyi koholla myös Järvimäki A:n pohjavesialueen kohdalla, vaikka sekään ei ole pääuoman välittömässä yhteydessä. Vasta pohjavesialueiden jälkeen isotooppien ja piidioksidin pohjavesisignaali pääuomassa alkoi heiketä, joten pohjavettä pääsi uomaan todennäköisesti myös muualta kuin pelkästään tämän yhden sivu-uoman kautta, esimerkiksi välillisesti ojien kautta tai suorana pohjavesivaluntana pohjavesialueelta. Pohjavesialueiden jälkeen pohjavesisignaali heikkeni isotooppien,

mutta myös piidioksidin perusteella, joten pelkkä haihdunnan vaikutus ei selitä signaalin heikkenemistä, vaan esimerkiksi suhteessa pohjavesivaluntaa suurempi maatai pintavalunta jokeen.

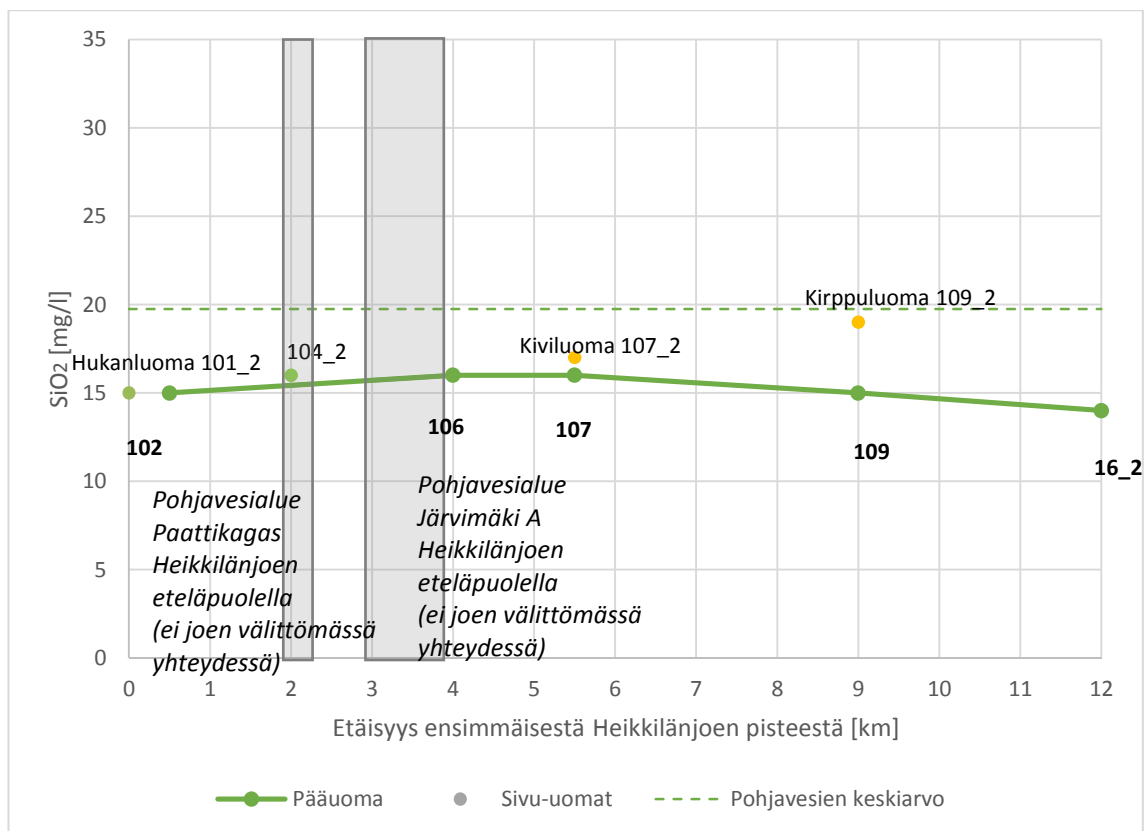
Mitattujen $\delta^{18}\text{O}$ -arvojen ja piidioksidin perusteella sivu-uoma 104_2 toi siis pääuomaan pohjavettä ja kasvatti pohjavesisignaalia pääuomassa. Myös Hukanluoman pohjavesisignaali isotooppien ja piidioksidin perusteella oli korkea. Kiviluoman (-11,48‰, 17 mg/l) sekä Kirppuluoman (-10,29‰, 19 mg/l) osalta tilanne oli sama kuin osassa Lapväärtin-Isojoen sivu-uomista, eli $\delta^{18}\text{O}$ -arvojen perusteella sivu-uomien pohjavesisignaali oli matalampi kuin pääuomassa, mutta piidioksidipitoisuus näytteissä oli korkeampi kuin pääuomassa. Isotooppien suorien tarkastelussa Kiviluoman isotooppiarvot sijoituivat haihduntasuoralle, LMWL-suoran yläpuolelle, joten siinä oli isotooppien perusteella suhteessa suurempi pohjavesisignaali kuin Kirppuluoman pisteessä. Toisaalta Kirppuluoman näytteessä piidioksidipitoisuus oli suurempi. Karttakuvan perusteella (Kuva 29) nämä molemmat sivu-uomat tuovat vettä pitkän matkan päästä. Syyt voivat siis olla samat kuin Lapväärtin-Isojoen vastaavissa näytteissä, eli joko korkea piidioksidipitoisuus voi johtui esimerkiksi siitä, että maaperästä on virtausmatkalla kertynyt piidioksidia veteen tai vesi on pohjavesivaikutteinen, mutta se on fraktioitunut haihdunnan vuoksi virratessaan avouomassa.



Kuva 24. Heikkilänjoen pääuoman ja sivuhaarojen veden $\delta^{18}\text{O}$ -arvot. Pääuoman näytteenottopisteet on merkattu jatkuvalla viivalla ja sivu-uomat yksittäisinä pisteinä. Vihreällä on merkitty sivu-uomat, joissa isotooppi- ja piidioksidiarvot osoittavat vahvaa pohjavesisignaalia ja keltaisissa on ristiriitoja isotooppi- ja piidioksidiarvojen välillä. Sinisellä merkitystä sivu-uomasta on mitattu ainoastaan isotooppi. Pohjavesialueet on merkitty kuvaan harmaana palkkina niitä vastaavien uomakilometrien kohdalle.



Kuva 25. Heikkilänjoen näytteiden isotoopit suhteessa paikallisten suorien sekä Suomen LMWL-suoran (Kyllönen 2018) suhteen.

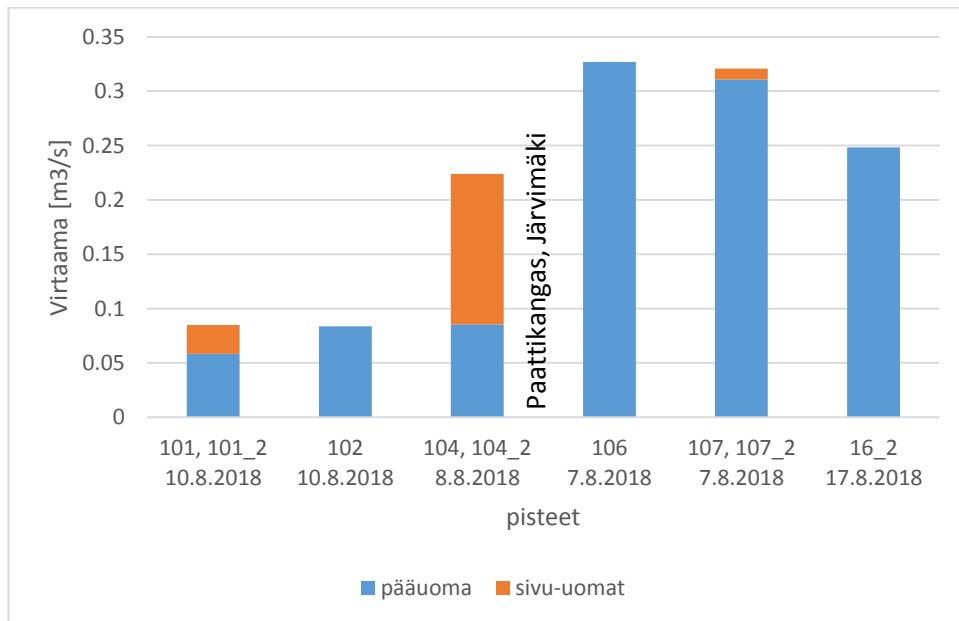


Kuva 26. Heikkilänjoen pääuoman ja sivu-uomien piidioksidiarvot. Pääuoman näytteenottopisteet on merkattu jatkuvalla viivalla ja sivu-uomat pisteinä. Katkoviivalla on esitetty pohjavesinäytetulosten keskiarvot. Pohjavesialueet on merkitty kuvaan harmaina palkkeina.

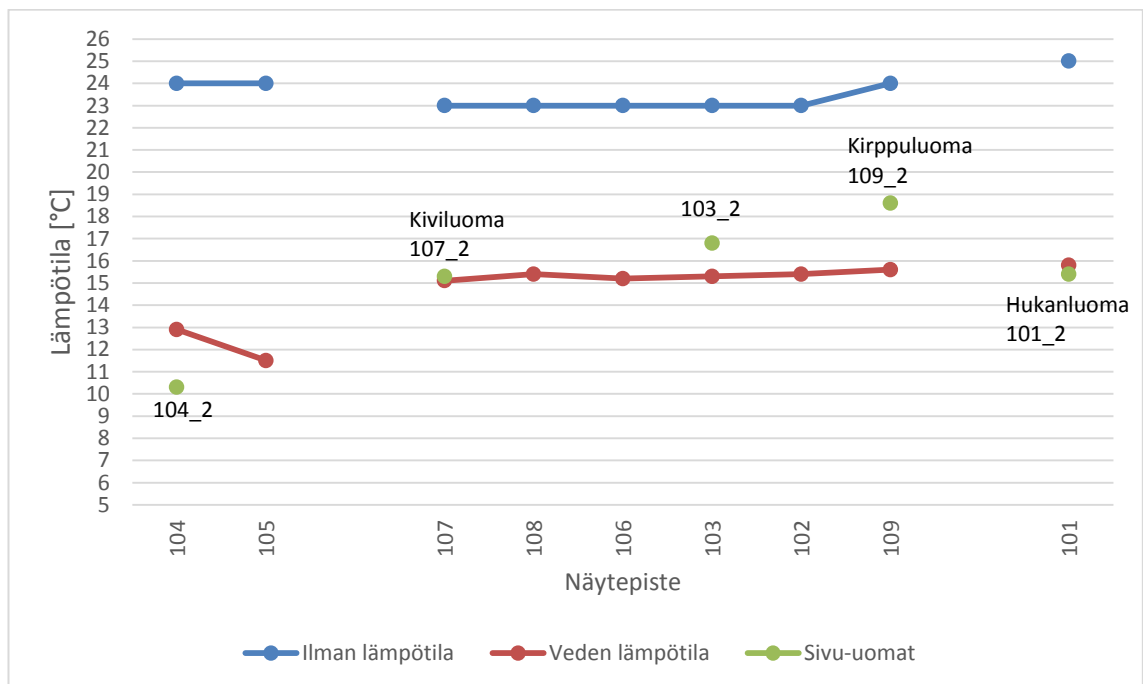
Kuten Lapväärtin-Isojoessa, myös Heikkilänjoessa virtaama kasvoi alavirtaanpäin kilometrille 4 saakka ja virtaama kasvoi huomattavasti pohjavesialueiden kohdalla (Kuva 27). Vaikka pisteiden 104 ja 106 välillä oleva virtaaman kasvu voi kertoa pohjaveden tihkumisesta uomaan, voi se johtua pohjavesialueen lisäksi myös siitä, että niiden välillä oleva joissain kartoissa näkyvä oja (Kuva 29) on jäänyt huomioimatta näytteenottoa suunnitellessa. Lisäksi virtaamamittaukset tehtiin olosuhteiden vuoksi sellaisessa järjestyksessä, että ensin otettiin piste 106 ja vasta seuraavana päivänä se ylävirrassa olevat pisteet 104 ja 104_2. Isotooppitulosten perusteella pohjaveden määrä suhteessa pintaveteen kyseisellä välillä kuitenkin lisääntyi jonkin verran, joten ainakin osa virtaaman kasvusta selittyy todennäköisesti uomaan tulevalla pohjavesivirtauksella.

Virtaamamittausten perusteella pisteen 106 jälkeen Heikkilänjoen pääuoman virtaama pieneni. Tämä voi selittyä sillä, että vettä imeytyi enemmän maaperään, kuin sitä purkautui sieltä jokeen. Ero pisteiden 106 ja 107 välillä oli kuitenkin melko pieni ja voi selittyä myös mittauksen virheellä. Pisteiden 107 ja 16_2 välillä oli pidempi matka ja virtaamaero oli huomattavasti suurempi. Tämä voi johtua osaltaan myös siitä, että

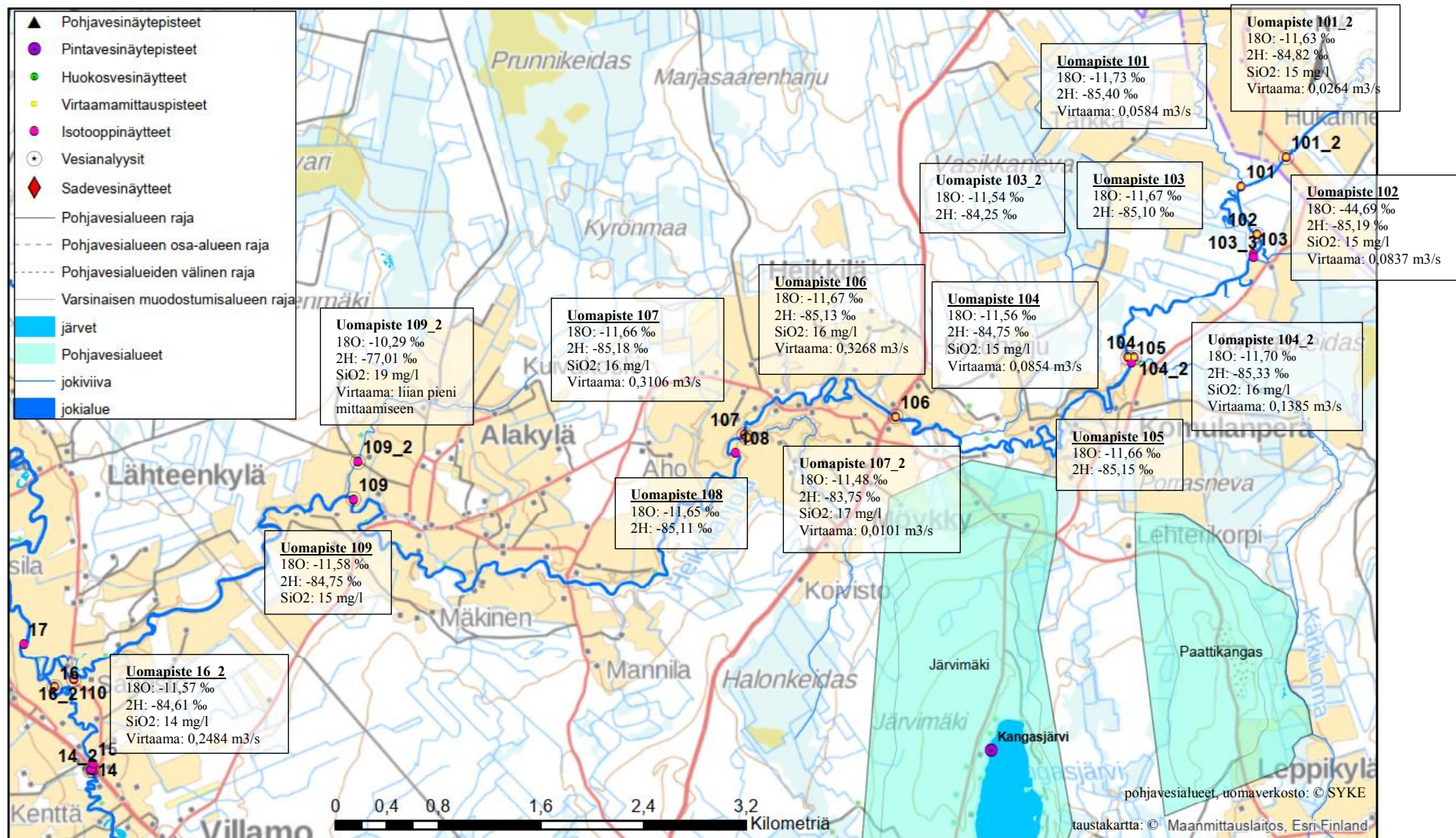
virtaamamittausten välillä oli 10 päivää, koska pisteen 110 virtaama mitattiin vasta Isojoen virtaamamittausten yhteydessä.



Kuva 27. Heikkilänjoesta mitatut virtaamat. Sinisellä pylväällä on merkitty pääuoman pisteiden virtaamat ja oranssilla sivu-uomien virtaamien suuruudet. Niiden yhteenlaskettu virtaaman suuruus heti sivu-uoman ja pääuoman jälkeen, uomien yhdistyessä, on koko pylvään korkeus.



Kuva 28. Ilman ja veden lämpötilat näytteenottohetkellä Heikkilänjoella.



Kuva 29. Heikkilänjoen näytenpisteet.

5.3.3 Pohjaveden purkautuminen Lapväärtin-Isojokeen luokiteltujen pohjavesialueiden kohdalla

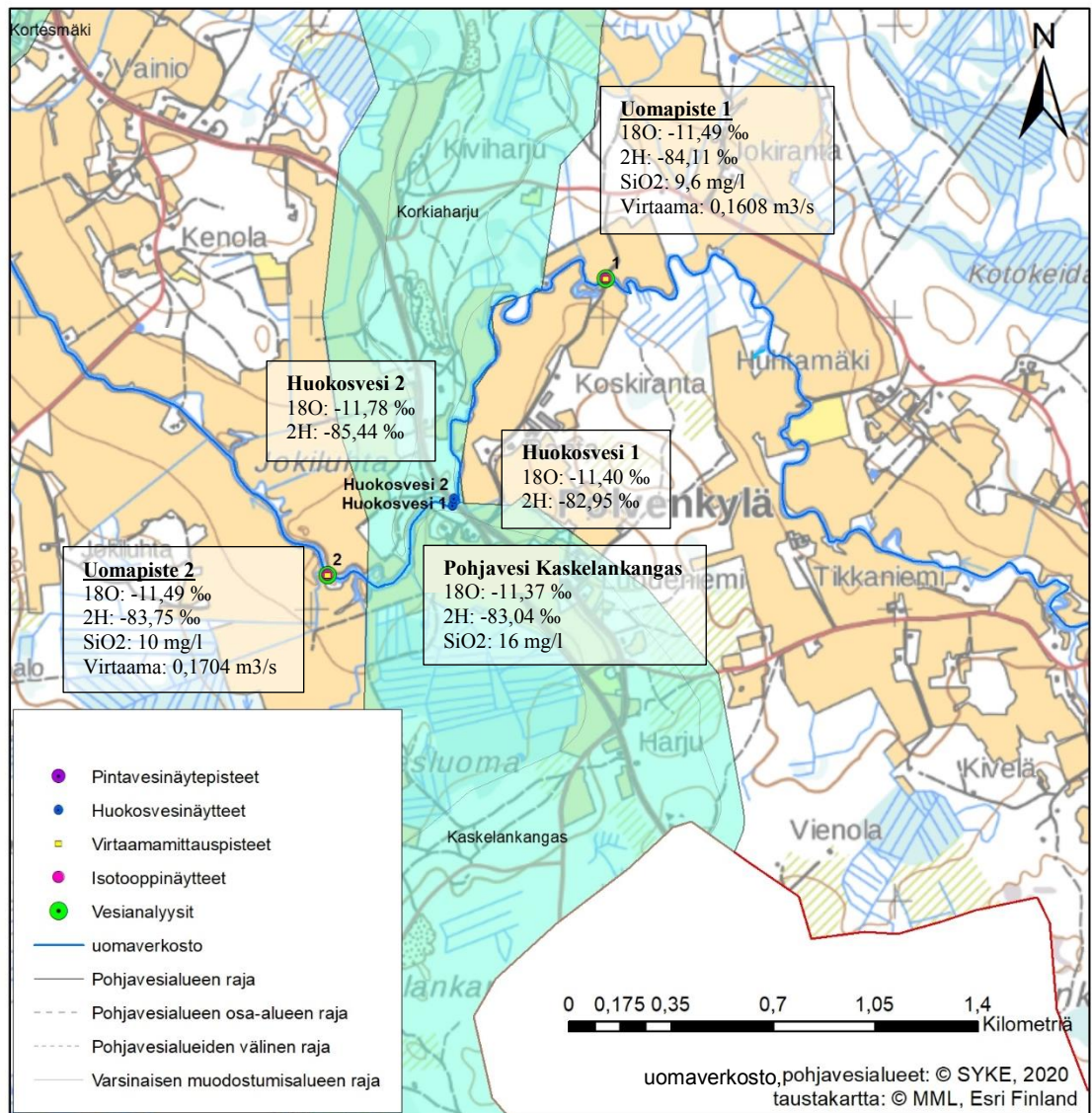
Lapväärtin-Isojoessa tutkimuspisteestä 1 alavirtaan kuljettaessa, ensimmäiset suoraan uomaan yhteydessä olevat pohjavesialueet ovat Korkiaharjun sekä Kaskelankankaan pohjavesialueet, jotka sijaitsevat samoilla uoman kilometreillä, tutkimuspisteiden 1 ja 2 välissä (Kuva 30).

Isojoen pääuomasta Kaskelankankaan puolelta otetun huokosvesinäyte 1:n $\delta^{18}\text{O}$ -arvo (-11,40‰) oli lähes sama kuin Kaskelankankaan pohjavesinäytteen arvo (-11,37‰). Molemmat arvot olivat kuitenkin pohjavesisignaailtaan pienemmät kuin pääuomassa. Huokosvesinäyte 2:ssa $\delta^{18}\text{O}$ oli -11,78‰, eli näitä sekä pääuoman arvoja negatiivisempi. Tämä voi selittyä osaksi sillä, että Kaskelankankaan pohjavesinäyte otettiin noutimella lähdekaivosta ja se oli kaikista pohjavesinäytteistä suurin $\delta^{18}\text{O}$ -arvoltaan. Voi myös olla, että Korkiaharjun puolella pohjavedessä oli negatiivisemmat isotooppiarvot, kuin Kaskelankankaan puolella. Tätä ei voida todentaa, sillä Korkiaharjun pohjavesialueelta ei otettu pohjavesinäytettä. Voi olla todennäköistä, että huokosvesi edustaa vanhempaa pohjavettä, eli se on esimerkiksi lumesta tai kevään vesistä peräisin, jolloin isotooppiarvot ovat olleet negatiivisempia kuin kesän sateissa.

Lapväärtin-Isojoen pääuomassa kuljettaessa pisteestä 1 pisteeseen 2 hapen $\delta^{18}\text{O}$ pysyi samana: -11,49‰ eikä pohjavesisignaali juurikaan muuttunut isotooppien osalta. On kuitenkin huomionarvoista, että molemmat uoman näytteet saavat negatiivisemmat $\delta^{18}\text{O}$ -arvot kuin pohjavesinäytteestä mitattu $\delta^{18}\text{O}$, eli pohjavesisignaali oli suuri. Tämä voi johtua siitä, että nämä näytepisteet ovat lähellä uoman alkupään lähteitä, josta joki saa alkunsa, eli alkulähteistä tuleva pohjavesi ei ole vielä päässyt haihtumaan ja fraktioitumaan eikä jokiveteen ole päässyt huomattavasti pintavaluntaa. Piidioksidipitoisuus kasvoi uoman pisteiden 1 ja 2 välillä arvosta 9,6 mg/l arvoon 10 mg/l. Kasvu oli melko pieni, mutta se voisi viitata pohjaveden määrän lisääntymiseen uomassa, sillä Kaskelankankaan pohjavesinäytteestä mitattu piidioksidipitoisuus oli uomaa suurempi (16 mg/l). Myöskään virtaamassa ei näy suurta muutosta, mutta kasvua on hieman, noin 0,0096 m³/s.

Pohjavesi-indikaattoreiden mukaan uomassa ei siis Kaskelankankaan ja Korkiaharjun pohjavesialueiden kohdalla näkynyt merkittävää pohjavesisignaalin kasvua, johtuen osaltaan siitä, että joki saa alkunsa lähteistä, ja pohjavesialueet sijaitsevat joen

alkupäässä. Pieni pohjavesisignaalin kasvu oli kuitenkin havaittavissa piidioksidipitoisuuden ja virtaaman kasvun perusteella.



Kuva 30. Kaskelankankaan ja Korkiaharjun pohjavesialueiden tutkimustulokset.

Ennen uomassa seuraavia pohjavesialueita, tutkimuspisteissä 2 ja 3, $\delta^{18}\text{O}$ -arvo kasvoi arvosta -11,49‰ arvoon -11,43‰ eli pohjavesisignaali pieneni. Piidioksidipitoisuus sen sijaan kasvoi arvosta 10 arvoon 11. Virtaama kasvoi myös, mikä saattaa selittyä joko pohjaveden lisääntymisellä tai pintavesivalunnalla, jota ei ole näytteenotossa huomioitu. Veden lämpötila pääuomassa laski 0,2 astetta näiden pisteiden välillä, vaikka ilman lämpötila kohosi näytteidenoton välillä (Kuva 23). Ero ei ole kuitenkaan merkittävä. Isotooppien perusteella pohjavesisignaali siis laski, mutta piidioksidin ja lämpötilan perusteella kasvoi.

Hurttakangas ja Kortesmäki ovat seuraavat pohjavesialueet Kaskelankankaan ja Korkiaharjun jälkeen (Kuva 31). Ne sijaitsevat tutkimuspisteiden 3 ja 7 välissä. Hurttakankaan pohjavesialueelta on otettu pohjavesinäyte, josta mitattu $\delta^{18}\text{O}$ -arvo oli -11,74‰. Huokosvesinäytteet onnistuttiin ottamaan molemmilta pohjavesialueilta. Kortesmäen pohjavesialueesta otettu huokosvesinäyte 3 sai $\delta^{18}\text{O}$ -arvoksi -11,54‰. Hurttakankaalta otettu huokosvesinäyte 4 sai $\delta^{18}\text{O}$ -arvokseen -11,57‰. Huokosvesinäytteet eivät siis isotoopeiltaan aivan vastanneet Hurttakankaan pohjavesialueelta otettua pohjavesinäytettä, vaan pohjavesisignaali oli niissä pienempi. Ne ovat kuitenkin negatiivisempia kuin uomasta mitatut $\delta^{18}\text{O}$ -arvot, joten pääuomaan verrattuna pohjavesisignaali oli suurempi.

Pääuoman pisteissä 3 ja 4 Isojoen virratessa Kortesmäen läpi, $\delta^{18}\text{O}$ -arvo jokivedessä pieneni arvosta -11,43‰ arvoon -11,47‰. Myös piidioksidipitoisuus nousi yhden milligramman verran. Virtaama kasvoi 0,08 m³/s. Pohjaveden osuus uomassa siis kasvoi isotooppiarvojen, piidioksidiarvojen sekä virtaaman perusteella. Tähän vaikuttaa osaltaan myös sivu-uoma 3_2, joka laskee pääuomaan heti tutkimuspisteen 3 jälkeen ja toi tulosten mukaan pääuomaan vettä, jossa pohjavesisignaali oli korkeampi kuin pääuomassa. Maastokartan perusteella vesi on peräisin todennäköisesti Kortesmäen tai Korkiaharjun pohjavesialueelta. $\delta^{18}\text{O}$ -arvo sivu-uomassa 3_2 oli noin -11,54‰, eli saman verran kuin huokosvesinäytteessä ja on lisäksi hyvin lähellä pohjavesien keskiarvoa -11,56‰. Sivuuoman virtaama selittää virtaamamittausten perusteella kuitenkin vain osan pääuomaan näytepisteiden 3 ja 4 välillä tulevasta vesimäärästä, joten todennäköisesti tällä välillä myös Kortesmäen tai Hurttakankaan pohjavesialueilta purkautuu pohjavettä pääuomaan.

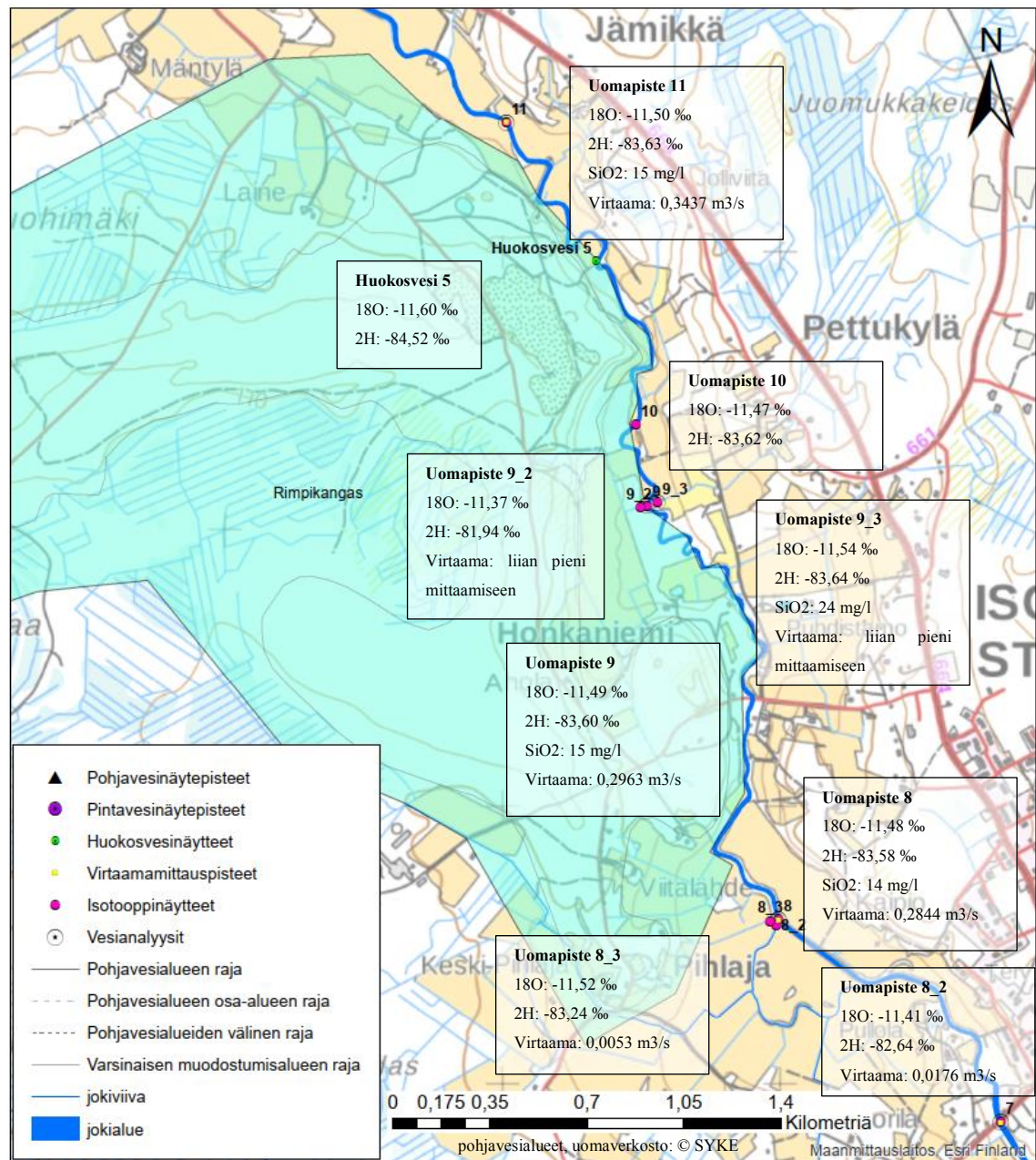
Koska pisteisiin 3 ja 4 vaikuttaa Hurttakankaan lisäksi myös Kortesmäen pohjavesialue, tarkasteltiin Hurttakangasta tarkemmin pisteiden 4-7 avulla. Pisteiden 4 ja 7 välillä $\delta^{18}\text{O}$ -arvo laski -11,57‰:sta -11,48‰:een eli pohjavesisignaali kasvoi. Myös piidioksidipitoisuus kasvoi 2 milligrammaa, mutta virtaamassa kasvua ei ollut havaittavissa. Tutkimuspisteen 5 kohdalla pohjavesisignaali oli jopa suurempi kuin tutkimuspisteissä 4 ja 7, mutta laski, kun sivu-uoma 5_2 toi pääuomaan pohjavesisignaalien perusteella pintavettä.

Isotooppiarvojen sekä piidioksidipitoisuuden perusteella pohjavesisignaali siis kasvoi pisteiden 4 ja 7 välillä, joka viittaisi pohjaveden purkautumiseen Hurttakankaan

Hurttakankaan jälkeen, ennen seuraavaa pohjavesialuetta, ei tapahtunut muutosta pohjavesisignaalin, sillä pisteissä 7 ja 8 $\delta^{18}\text{O}$ -arvojen ero on alle 0,1 (Kuva 31 ja Kuva 32). Myös piidioksidiarvot pysyvät uoman pisteissä samana, eikä virtaama juuri muuttunut. Juuri ennen Rimpikankaan pohjavesialuetta pääuomaan laski kaksi sivu-uomaa (tutkimuspisteet 8_2 ja 8_3). Näistä sivu-uomista otettiin pelkät isotooppinäytteet, virtaamat sekä lämpötilat, sillä niitä ei ollut huomioitu näytteenottoa suunnitelmassa. Näiden isotooppiarvot olivat lähellä pääuoman arvoja.

Rimpikankaan pohjavesialue on seuraava pohjavesialue alavirtaan kuljettaessa, jonka reunamalla Lapväärtin-Isojoki kulkee. Rimpikankaalta ei otettu pohjavesinäytettä, mutta siitä otettiin viides huokosvesinäyte. Huokosvesinäytteestä mitattu $\delta^{18}\text{O}$ -arvo oli -11,60‰. Tämä oli pienempi kuin uoman keskimääräiset arvot ja jopa pohjavesien arvoa pienempi. Pohjavesisignaali huokosvesinäytteessä oli siis voimakas, jonka perusteella voidaan arvioida, että pohjavettä suotautuu pohjavesialueelta suoraan pääuomaan.

Kun verrataan pisteitä ennen Rimpikankaan pohjavesialuetta (piste 8) ja sen jälkeen (piste 11), nähdään, että pohjavesisignaali pääuomassa kasvoi hieman pohjavesialueen kohdalla isotooppien ja piidioksidin perusteella. Pisteessä 8 $\delta^{18}\text{O}$ sai arvon -11,48‰ ja piidioksidi arvon 14 mg/l. Pisteessä 11 taas $\delta^{18}\text{O}$ sai arvon -11,50‰ ja piidioksidi arvon 15 mg/l. Myös virtaamamittauksissa näkyi selvä virtaaman kasvu, pohjavesialueen kohdalla erityisesti pisteiden 9 ja 11 välillä, joka ei selity ainakaan tämän diplomityön puitteissa mitattujen sivu-uomien virtaamilla. Pohjavesisignaalin kasvua uomassa näytti rajoittavan pääuoman itäpuolelta, sivuhaarasta 9_2 pääuomaan tuleva pintavesi, vaikka samaan aikaan Koniluoma (9_3) toi pääuomaan vettä Rimpikankaan pohjavesialueen puolelta, jossa pohjaveden osuus oli tulosten perusteella suurempi kuin pääuomassa. Pohjavesisignaali Rimpikankaan pohjavesialueen kohdalla kasvoi siis isotooppien, piidioksidin sekä virtaamien perusteella, joten voidaan olettaa, että Rimpikankaan pohjavesialueelta tulee pääuomaan pohjavesivirtausta.



Kuva 32. Rimpikankaan pohjavesialueen tutkimustulokset.

Rimpikankaan pohjavesialueen jälkeen on Isojoen pääuomassa noin 8 kilometrin matka, jolla Lapväärtin-Isojoki ei virtaa luokiteltujen pohjavesialueiden halki. Tämän välin keskivaiheilla, noin kilometrin 16 kohdalla, Heikkilänjoki laskee Isojokeen. Isotooppitulosten perusteella ei pisteiden 11-18 välissä tapahdu suurta vaihtelua, vaan uoman veden pohjavesisignaali pysyi melko tasaisena. Ainoa poikkeama pisteiden 11 ja 18 välillä on pisteissä 14 ja 15, jolloin pohjavesisignaali uomassa näytti kasvavan hieman. Tämä selittyy sivu-uomalla 14_2. 14_2 on Lapväärtin-Isojokeen laskeva puro, johon piste 14_3 purkautuu. Näiden sivu-uomasta otettujen näytteiden isotooppitulosten ja piidioksidipitoisuuksien pohjavesisignaali oli hyvin korkea. Kenttähavaintojen perusteella (Kuva 33) pisteen 14_3 vesi onkin mahdollisesti suoraan lähteestä tuleva.

Kuvassa 33 on esitetty oja (piste 14_2) sekä siihen ruskean alueen kohdalla ojaan tuleva purkautumispiste 14_3. Kuvassa näkyvä ruostesakka sekä vesianalyysien tulokset viittaavat hapettoman pohjaveden purkautumispisteeseen, sillä vedessä oleva rauta muuttuu hapettuessaan ruosteeksi.

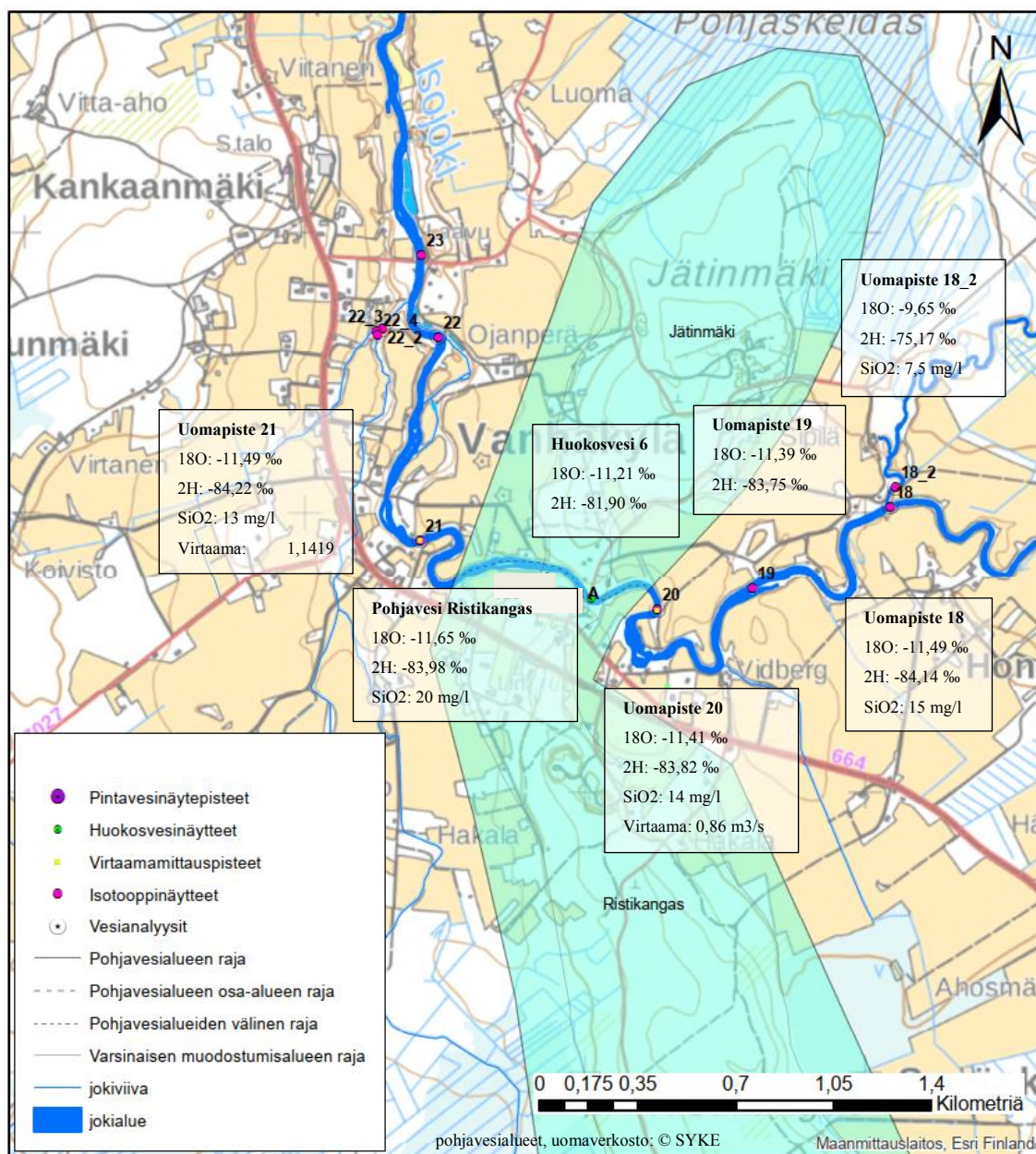


Kuva 33. Kuva näytteenottopisteeltä 14 (kuva: Luusua H., 2018).

Pisteiden 18 ja 19 välillä $\delta^{18}\text{O}$:n arvo muuttui $-11,49\text{‰}$:sta $-11,39\text{‰}$:een eli pohjavesisignaali laski nopeasti. Tämä selittyy sillä, että Pajuluoma (piste 18_2), jossa hapen isotoopin arvo oli vain $-9,65\text{‰}$, toi pääuomaan pintavettä. Pisteestä 19 ei otettu piidioksidinäytettä, mutta sitä seuraava, pisteen 20 näyte, oli piidioksidipitoisuudeltaan pienempi kuin pisteessä 18.

Rimpikankaan jälkeen seuraavat pohjavesialueet, joiden läpi Lapväärtin-Isojoki virtaa, ovat Ristikankaan ja Jätinmäen pohjavesialueet, jotka sijaitsevat samoilla uoman kilometreillä, havaintopisteiden 20 ja 21 välissä (Kuva 34). Jo ennen kuin uoma virtaa pohjavesialueille, pisteiden 19 ja 20 välillä, näkyi jo pieni pohjavesisignaalin kasvu isotooppiarvoissa. Tämä voi selittyä esimerkiksi sillä, että pohjavettä pääsee purkautumaan uomaan pohjavesialueilta uomaan jo ennen pistettä 20. Pisteiden 20 ja 21 välissä sen sijaan oli $\delta^{18}\text{O}$:n arvossa nähtävissä selkeä pohjavesisignaalin nousu, kun $\delta^{18}\text{O}$:n arvo laski $-11,41\text{‰}$:sta arvoon $-11,49\text{‰}$. Myös virtaaman kasvua näiden pisteiden välillä oli $0,28\text{m}^3/\text{s}$. Piidioksidiarvot olivat sen sijaan olevan hieman

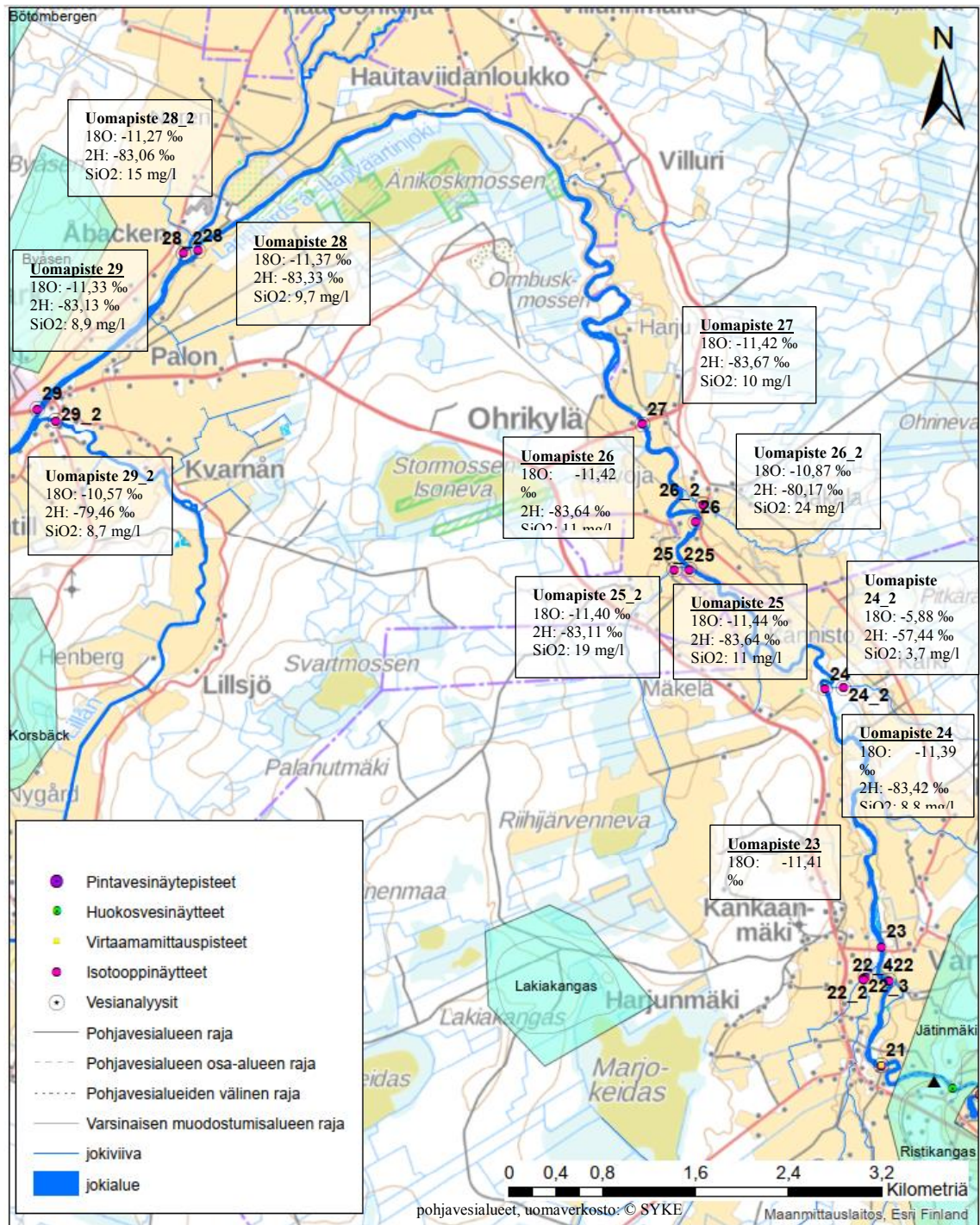
ristiriidassa näiden tulosten kanssa, sillä piidioksidipitoisuus uomassa laski 14 mg/l:sta 13 mg/l:aan, joka on uoman aikaisemmissa pisteissä ollut yhteydessä myös muiden pohjavesisignaalien pienenemiseen uomassa. Piidioksidipitoisuuden käyttö pohjaveden merkkiaineena perustuu siihen, että mitä pidempään vesi virtaa maaperässä, sitä enemmän piidioksidia se kerää mukaansa, jonka vuoksi pohjavedessä on yleensä enemmän piidioksidia kuin pintavedessä. Piidioksidin väheneminen voi kuitenkin tässä tapauksessa selittyä sillä, että pohjavesialue sijaitsee harjuaalueella, jossa vesi suotautuu nopeasti hyvin vettä johtavien maakerrosten läpi pohjavedeksi ja sieltä edelleen jokeen. Tällöin piidioksidia ei pääse kertymään veteen, sillä vesi ei viivy maaperässä pitkään. Tämä selittäisi sen, että Ristikankaan ja Jätinmäen pohjavesialueiden kohdalla piidioksidipitoisuudet pääuomassa laskivat, vaikka isotooppien ja virtaaman perusteella uomaan tulee pohjavettä. Myös pääuomassa virtaavan veden happipitoisuus Jätinmäen kohdalla kasvoi (Kuva 39), joka viittaa siihen, että pohjavettä muodostuu ja purkautuu uomaan tässä kohdalla runsaasti, sillä runsas pohjavedenmuodostus lisää pohjaveden happipitoisuutta.



Kuva 34. Jätinmäen ja Ristikankaan pohjavesialueiden tutkimustulokset.

Pisteen 21 jälkeen, ei Lapväärtin-Isojoki tämän diplomityön tutkimusalueen puitteissa kulje enää luokiteltujen pohjavesialueiden läpi. Viimeinen tähän diplomityöhön otettu vesinäytepiste oli Kärjenjoen sivu-uoman kohdalla (piste 29_2). Pääuoman isotooppiarvoissa (Kuva 35) näkyikin pohjavesisignaalin laskua alajuoksua kohti. Myös kaikki tutkitut sivu-uomat pisteen 21 jälkeen, kuljettivat pääuomaan isotooppitulosten perusteella pintavettä, sillä niiden pohjavesisignaali on pienempi kuin pääuomassa. Yksi poikkeama isotooppiarvoissa sekä piidioksidiarvoissa oli pisteiden 24 ja 25 välillä, jossa isotoopit sekä piidioksidi pohjavesisignaali äkisti nousi. Tämä on todennäköisesti

harjualue tai rantakerrostuma, jolta purkautuu pohjavesiä. Aluetta ei ole luokiteltu pohjavesialueeksi.

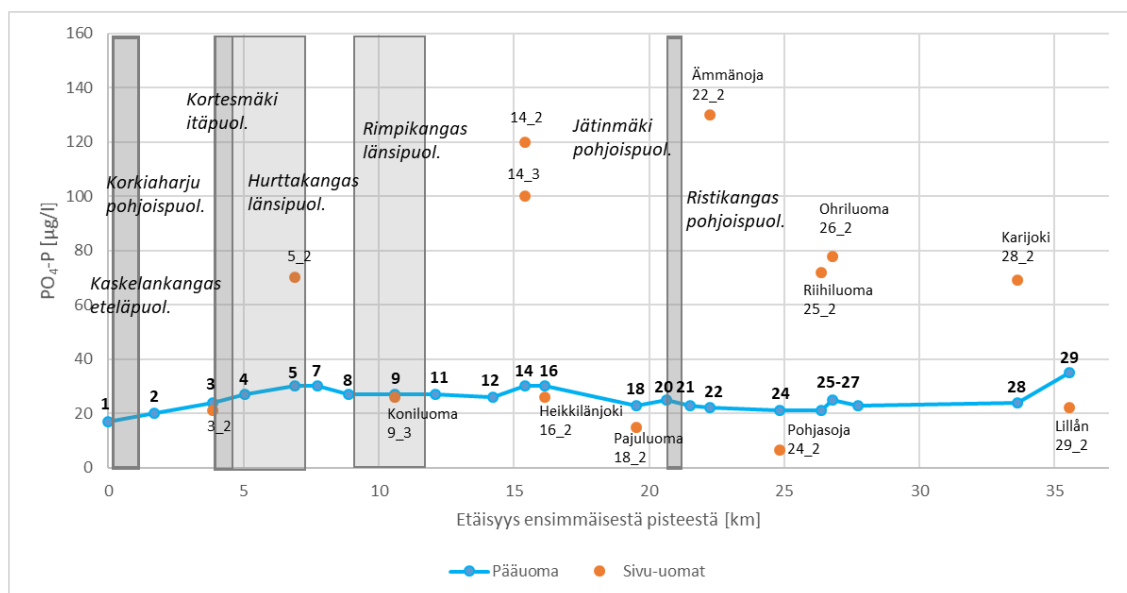


Kuva 35. Uoman loppupisteet Kärjenjokeen saakka.

5.4 Lapväärtin-Isojoen ja sen sivuhaarojen vedenlaatu

5.4.1 Lapväärtin-Isojoen vedenlaadun vaihtelu

Kesän 2018 näytteistä saaduissa tuloksissa Lapväärtin-Isojoen pääuoman fosfaattifosforipitoisuus vaihteli välillä 17-35 $\mu\text{g/l}$ (Kuva 36). Alussa, kilometrien 0-7 kohdalla, jossa joki kulkee useamman pohjavesialueen läpi, sekä viimeisen 2 kilometrin osuudella pitoisuudet hivenen nousivat. Sivuhaaroissa fosfaattifosforipitoisuus oli 6,6-130 $\mu\text{g/l}$. Kolmessa sivuhaarassa pitoisuus oli pääuoman pitoisuuden kanssa samaa suurusluokkaa, kolmessa se oli selkeästi pienempi ja 7 sivuhaaraa vuorostaan toivat pääuomaan selkeästi fosfaattifosforipitoisuudeltaan suurempaa vettä. Näiden haarojen liittymäkohdissa myös pääuomassa havaittiin pieni nousu pitoisuudessa, joka tosin nopeasti laimeni. On huomattavaa, että suurin osa sivu-uomista, joissa havaittiin pääuomaa korkeampi piidioksidipitoisuus (Kuva 21), kuljettivat tulosten perusteella myös fosfaattifosforia pääuomaan. Tästä poikkeuksena pääuoman kilometreille 0-12 liittyvät Koniluoma sekä ojat 3_2 ja 5_2. Näistä ojassa 3_2 ja Koniluomassa oli suuri piidioksidipitoisuus, mutta niiden fosfaattifosforipitoisuus oli pääuoman luokkaa. Ojassa 5_2 sen sijaan piidioksidipitoisuus ja pohjavesisignaali oli pienempi kuin pääuomassa, mutta siitä mitattu fosfaattifosforipitoisuus oli korkea.

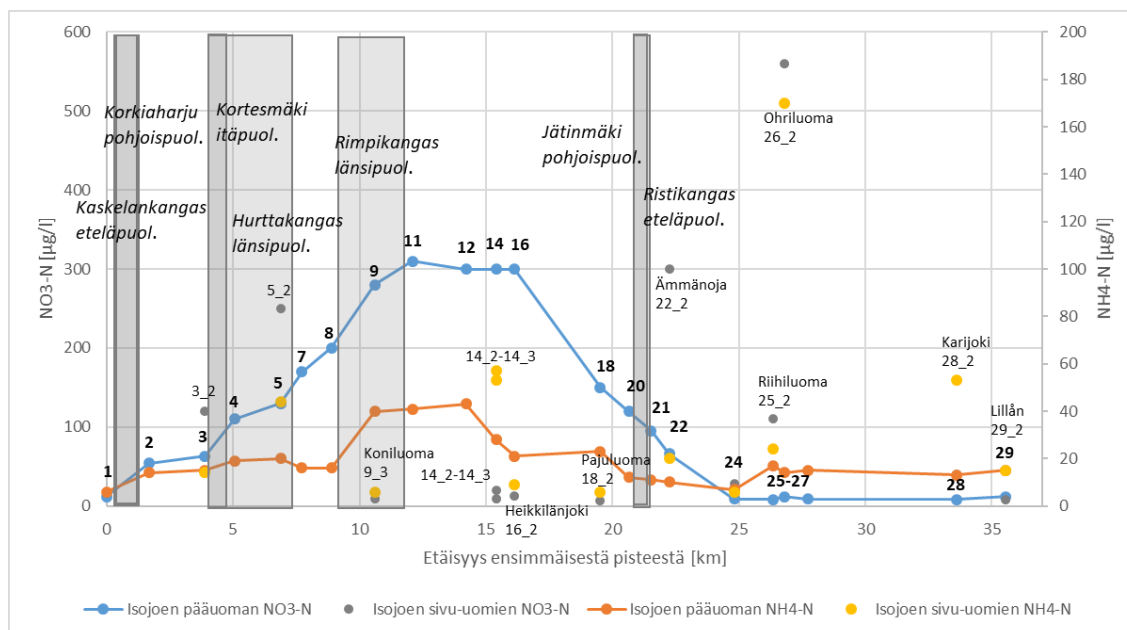


Kuva 36. Isojoen fosfaattifosforipitoisuudet.

Isojoen pääuomassa nitraattityyppipitoisuus vaihteli välillä 6-310 $\mu\text{g/l}$ (Kuva 37). Pääuomassa näkyi selvää kasvua nitraattityypin pitoisuudessa kilometreillä 0-12. Tällä

alueella on myös suuri osa luokitelluista pohjavesialueista, joiden läpi Lapväärtin-Isojoki virtaa. Vaikka myös osa sivu-uomista kuljetti tulosten mukaan nitraattityppeä pääuomaan tällä välillä, vaikuttaa kuitenkin siltä, että kuten fosfaattifosforissa, myös nitraattityppipitoisuuden ja pohjavesialueiden välillä oli yhteys. Pisteen 11 jälkeen typpipitoisuuden uomassa tasoittuivat ja Heikkilänjoen (piste 16_2) laskettua uomaan noin kilometrin 16 kohdalla, alkoi nitraattitypen pitoisuus pääuomassa laskea jyrkästi. Kilometrin 25 kohdalla nitraattityppipitoisuus oli laskenut jo alle 10 µg/l ja pysyi tasaisena Kärjenjokeen saakka. Viidessä sivu-uoman tutkimuspisteessä mitattiin pienemmän nitraattityppipitoisuudet kuin pääuomassa ja yhdessä ne olivat pääuoman luokkaa. Seitsemän sivu-uomaa toi pääuomaan nitraattityppipitoisuudeltaan korkeampaa vettä. Nitraattityppeä pääuomaan kuljettavista sivu-uomista, joissa nitraattityppipitoisuus oli korkeampi kuin pääuomassa, ojassa 5_2, Ämmänojassa, Riihiluomassa, Ohriluomassa ja Karijoessa myös fosfaattifosforipitoisuudet olivat pääuomaa korkeammat. Huomattava poikkeus sivu-uomien ravinteissa oli sivu-uomissa 14_2 ja 14_3, joiden fosfaattifosforipitoisuudet olivat pääuomaa huomattavasti korkeammat, mutta nitraattityppipitoisuudet sen sijaan huomattavasti matalammat. Fosfaattifosforin korkea pitoisuus voi johtua esimerkiksi vedessä olevista pesuainejäämistä. Myös ammoniumtypen pitoisuudet olivat korkeat näissä kahdessa pisteessä.

Kuten nitraattityppipitoisuudessa, myös pääuoman ammoniumtyppipitoisuus (Kuva 37) kasvoi kilometrien 0-11 välillä ja sen huippukohta oli kilometrien 10 ja 15 välissä. Ammoniumtypen pitoisuus alkoi laskea hieman aiemmin kuin nitraattitypellä, jo kilometrin 15 jälkeen, ja sen pitoisuus pääuomassa vaihteli välillä 6-43 µg/l. Kolmessa sivuhaarassa ammoniumtyppipitoisuudet olivat pääuomaa huomattavasti pienemmät, kolmessa pääuoman kanssa samaa luokkaa ja 7 sivu-uomaa ovat ammoniumtyppipitoisuudeltaan suurempia kuin pääuoma.



Kuva 37. Isojoen typpipitoisuudet.

Ravinteiden kasvu kilometrien 0-12 välillä voi osaltaan johtua siitä, että pohjavesi toi niitä mukanaan pääuomaan. Tätä päätelmää tukee se, että myös Hurttakankaan pohjavesinäytteessä mitattiin huomattavat nitraattityppipitoisuudet, 1300 µg/l, ja myös fosfaattifosforipitoisuudet olivat muita pohjavesialueita korkeammat (Taulukko 7). Fosfaattifosforipitoisuus Hurttakankaan pohjavesialueella oli kuitenkin pienempi kuin pääuomassa, joten vain nitraattitypen kasvu selittyisi pohjavesialueelta tulevalle ravinnekuormalla. Myös Kaskelankankaan kohdalla uomassa tapahtunut nitraattitypen kasvu voi selittyä pohjavesialueelta tulleella virtaamalla, sillä Kaskelankankaan pohjavesialueelta otetun näytteen nitraattityppipitoisuus oli 97 µg/l, eli korkeampi kuin pääuomassa ennen pohjavesialuetta. Ristikankaan pohjavesialueelta mitattu nitraattityppipitoisuus oli 170 µg/l, eli korkeampi kuin pääuomassa pohjavesialueen kohdalla, mutta joen virratessa tämän pohjavesialueen läpi nitraattipitoisuus pääuomassa laimeni alle sataan mikrogrammaan litrassa. Tätä voi selittää tässä diplomityössä tehdyssä pohjavesivaikutteisuuden arvioinnissa havaittu pohjaveden nopea ja runsas muodostuminen Ristikankaan ja Jätinmäen pohjavesialueiden kohdalla. Ammoniumtyppi oli kaikissa mitatuissa pohjavesinäytteissä alle 4 µg/l, eikä Hurttakankaan kohdalla ammoniumtyppipitoisuudessa kasvua havaittukaan. Kaskelankankaan ja Korkiaharjun pohjavesialueiden kohdassa ammoniumpitoisuudet sen sijaan nousivat Korkiaharjulta mitatusta pienestä ammoniumtyppipitoisuudesta huolimatta.

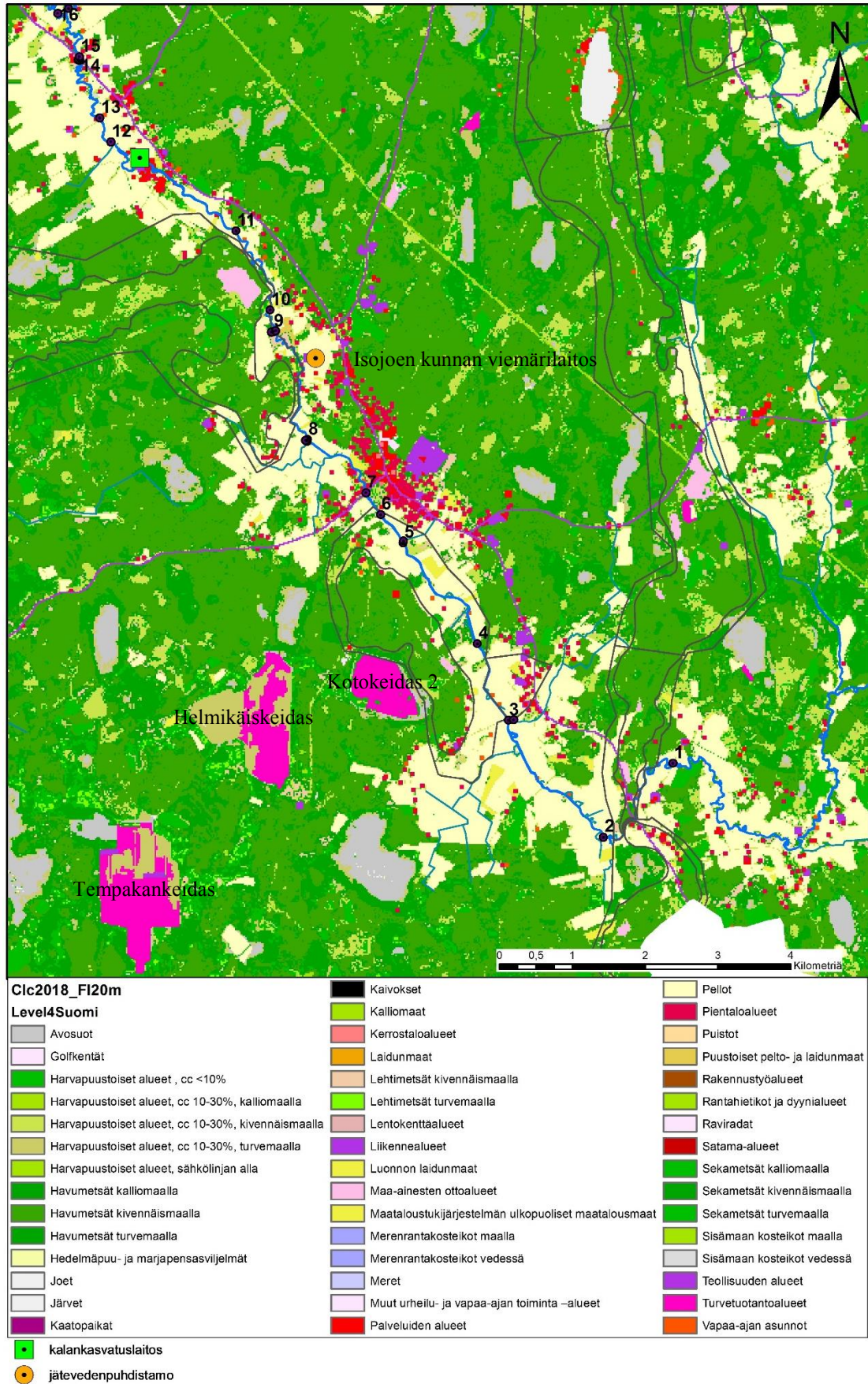
Kuten aiemmin tämän diplomityön teoriaosassa todettiin, nitraatti- ja ammoniumtyypen kasvu johtuu monesti ihmisen aiheuttamasta kuormituksesta. Nitraattityppi huuhtoutuu helposti valumaveden mukana vesistöihin, sillä se ei pidäty maahan ja hajoa yhtä helposti kuin ammoniumtyppi. Huokoisessa maassa, jossa pohjavesi kulkee hyvin, pääsee siis myös nitraattityppi kulkeutumaan veden mukana. Joki virtaa pisteiden 4-11 välissä Isojoen kirkonkylän läpi, joka näkyy Corine 2018 -maanpeitekartassa palveluiden alueena, pientaloalueena ja vapaa-ajan asuntojen alueena (Kuva 38). Asuintaloja on keskittynyt myös muualla joen reunamille. Tämä voi osaltaan selittää kasvaneet ravinnepitoisuudet. Myös maatalous ja pellot, jotka ovat keskittyneet joen varteen, tuovat oman lisänsä joen ravinnekuormaan. Pelloja sekä muuta maataloutta on kuitenkin joen uomilla koko tutkitulla uomapituudella (Kuva 4), joten se ei ole tässä tapauksessa täysin selittävä tekijä poikkeavalle typpipitoisuuden kasvulle kilometrien 0-12 kohdalla. Alueella tapahtuvat metsätalouteen liittyvät toimet kuten hakkuut, maanmuokkaus, ojitus ja metsien lannoitus voivat olla yksi merkittävä tekijä korkealle typpikuormalle.

Alueella joen läheisyydessä sijaitsee 3 avosuota (Kuva 38), joilla on Vapon turvetuotantoalueet. Näistä Kotokeidas 2 sijaitsee Isojoen valuma-alueella (37.03), jonka veden laskevat Isojokeen. Kotokeidas 2 turvetuotantoalueen tuotantokelpoinen pinta-ala on ollut vuonna 2017 52,7 ha ja sille on olemassa ympäristölupa. Vesienkäsittelymenetelmänä alueella on ollut käytössä pintavalutus. (Vapo, 2019)

Nitraattityypen kulkeutuminen Kotokeidas 2 -turvetuotantoalueelta Isojokeen Hurttakankaan pohjavesialueen kautta on kuitenkin epätodennäköistä. Aluehallintoviraston Kotokeitaan ympäristölupaa ja toiminnan aloittamista koskevasta päätöksestä käy ilmi, että ojitusjärjestelyillä on muutettu veden luontaista virtaussuuntaa ja Kotokeitaan kuivatusvedet on johdettu Kärjenjokeen, josta se ne kulkeutuvat Lapväärtinjokeen vasta Lapväärtinjoen alajuoksulla. Lisäksi Hurttakankaan pohjavesialueen varsinaisen muodostumisalueen ja turvetuotantoalueen välissä on suojavaähyke ja turvetuotantoalueen itä- ja pohjoispuolella sijaitsevat osat ovat heikosti vettä johtavaa hiekkamoreenia. (Aluehallintovirasto 2010)

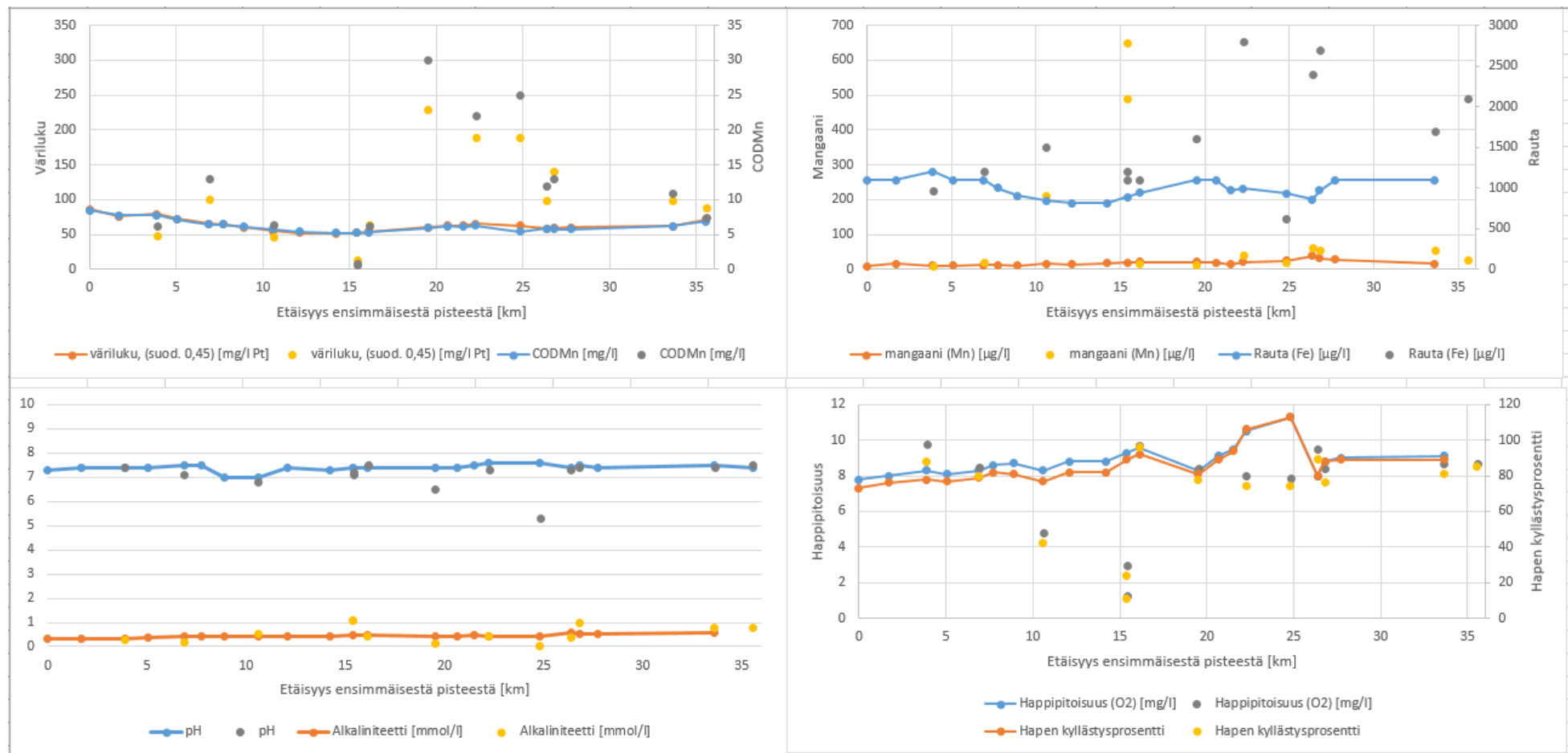
Pisteiden 8 ja 9 välissä sijaitseva Isojoen jätevedenpuhdistamo vaikuttaa todennäköisesti erityisesti ammoniumtyypen kasvuun, sillä ammoniumtyppipitoisuus pysyi tasaisena jätevedenpuhdistamolle saakka, jonka jälkeen pitoisuus selvästi kasvoi. Myös

nitraattityypipitoisuus kasvoi huomattavasti pisteiden 8 ja 9 välissä, mutta selvää kasvua on jo ennen näitä pisteitä. Pisteiden 16 jälkeen Lapväärtin-Isojoen pääuomaan laskee Heikkilänjoki, joka saattoi olla yksi syy Lapväärtin-Isojoen nopeasti laimeneviin ravinnepitoisuuksiin nitraattitypen ja fosfaattifosforin osalta, sillä Heikkilänjoessa oli huomattavasti pienemmät pitoisuudet kuin Isojoessa (Kuva 41).



Kuva 38. Isojoen yläjuoksu, jossa ravinnepitoisuudet kasvavat alajuoksua kohti (Corine maanpeite 2018 20m sekä pohjavesialueiden lähde: SYKE).

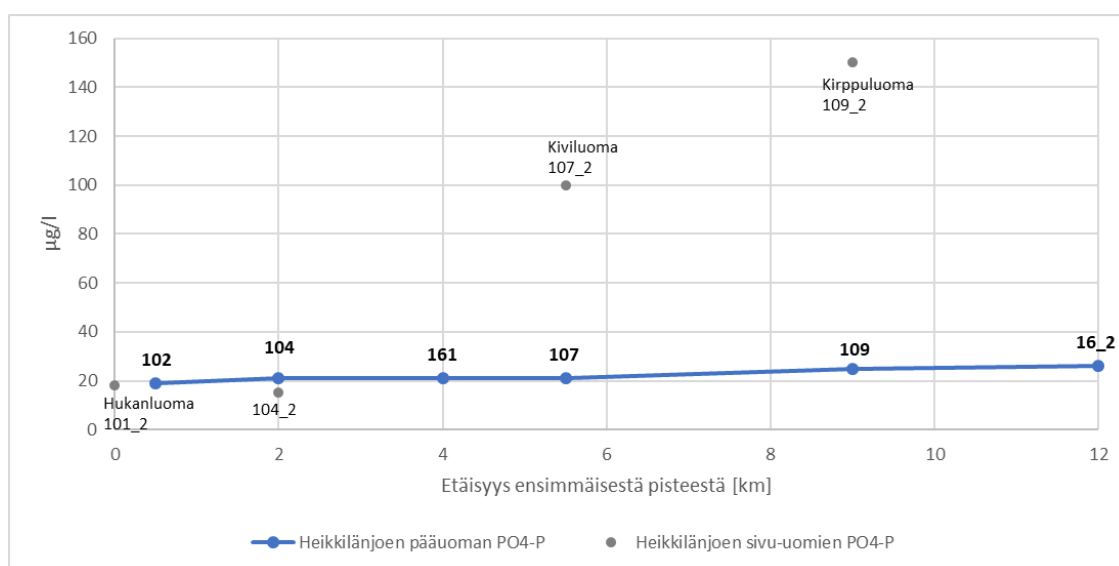
Alkaliniteetti ja pH pysyivät joessa melko tasaisena alavirtaan kuljettaessa (Kuva 39). Kahdessa sivu-uomassa pH oli selvästi happamampi kuin muualla ja niissä myös alkaliniteetin arvo oli pienempi. Väriluku ja CODMn pysyivät melko tasaisina, ja laskivat vain hieman ensimmäisen 10 kilometrin matkalla. Tämän jälkeen arvot kohosivat tasaisesti jokiuoman loppuosaan mentäessä. Kuten aiemmin tässä diplomityössä havaittiin, happipitoisuus Jätinmäen kohdalla kasvoi, joka viittaa siihen, että pohjavettä purkautui Jätinmäen pohjavesialueen kohdalla runsaasti uomaan.



Kuva 39. Isojoen 13.8.-16.8.2018 otettujen vesinäytteiden analyysitulokset.

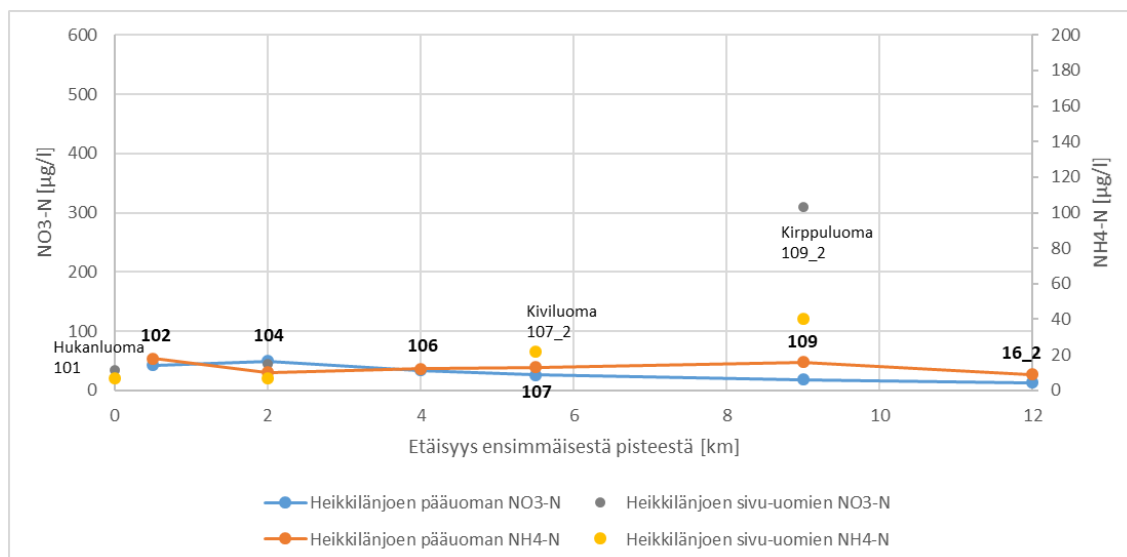
5.4.2 Heikkilänjoen vedenlaadun vaihtelu

Heikkilänjoen pääuoman ravinnepitoisuudet pysyivät melko alhaisissa lukemissa läpi koko pääuoman (Kuva 40 ja Kuva 41) verrattuna Isojoessa mitattuihin ravinnepitoisuuksiin. Fosfaattifosforipitoisuus pääuomassa vaihteli välillä 19-26 $\mu\text{g/l}$ kohoten joen alavirtaan päin. Fosfaattifosforipitoisuuden maksimiarvo 26 $\mu\text{g/l}$ Heikkilänjoen pääuomassa jäi hieman alle Isojoen pääuoman maksimiarvon 35 $\mu\text{g/l}$. Sivuhaarat Kiviluoma ja Kirppuluoma toivat fosfaattifosforipitoista vettä pääuomaan, mutta sivu-uomien Hukanluoma ja 104_2 fosfaattifosforipitoisuudet olivat lähellä pääuoman tasoja.



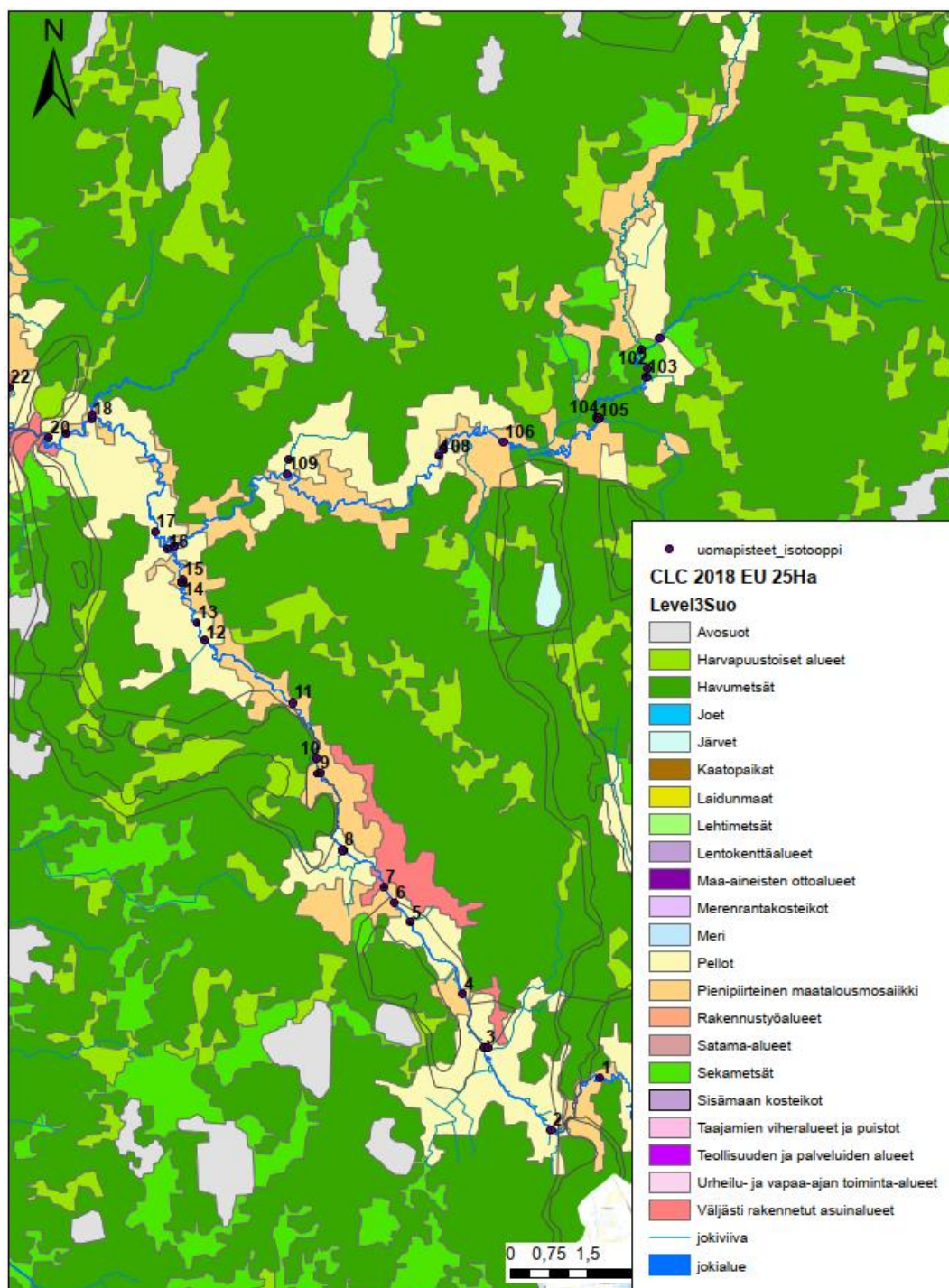
Kuva 40. Heikkilänjoen fosfaattifosforipitoisuudet. Suoralla on kuvattu Heikkilänjoen pääuoman pisteet ja yksittäisinä pisteinä Heikkilänjokeen laskevat sivu-uomat.

Nitratityypipitoisuudet (Kuva 41) Heikkilänjoen pääuomassa vaihtelivat välillä 13-49 $\mu\text{g/l}$. Lapväärtin-Isojoen nitratityypipitoisuuden vaihtelivat välillä 6-310 $\mu\text{g/l}$ (Kuva 37), joten erot näiden kahden joen välillä olivat merkittävät. Ammoniumtyypipitoisuudet Heikkilänjoen pääuomassa olivat välillä 9-18 $\mu\text{g/l}$, joten myös näissä ero Lapväärtin-Isojoen pääuomaan on huomattava, koska siinä vaihteluväli oli 6-43 $\mu\text{g/l}$. Sivuuomat 107_2 sekä 109_2 Heikkilänjoen alavirrassa ennen Isojokeen laskemista toivat fosfaattifosforin lisäksi myös typikuormaa pääuomaan.



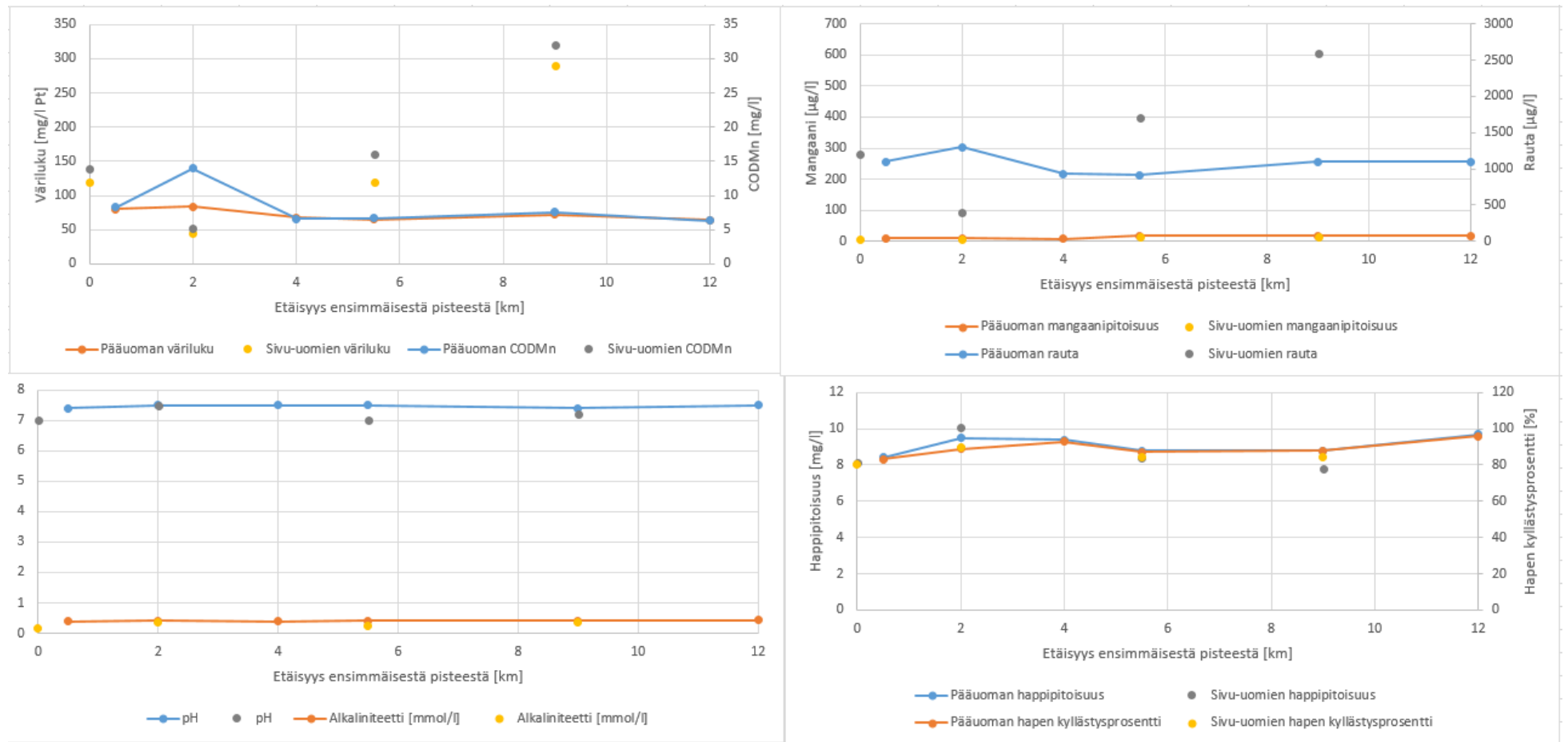
Kuva 41. Heikkilänjoen typpipitoisuudet. Yhtenevällä viivalla on kuvattu Heikkilänjoen pääuoman pisteet ja yksittäisinä pisteinä siihen laskevat sivu-uomat.

Corine-maanpeitekartan (Kuva 42) perusteella Heikkilänjoki virtaa melkein koko tutkitulta matkalta peltojen ja muiden maatalousmaiden läpi. Pisteiden 103 ja 104 välissä on metsää. Sivuuomat 107_2 ja 109_2 virtaavat Heikkilänjokeen maatalous- ja peltoalueiden läpi, joka voi olla yksi syy niiden pääuomaa korkeampaan ravinnekuormaan. Kaiken kaikkiaan Heikkilänjoen vesi oli ravinteiden osalta huomattavasti puhtaampaa kuin Lapväärtin-Isojoen.



Kuva 42. Maanpeite Heikkilänjoen ympäristössä (Corine maanpeite 2018 20m sekä pohjavesialueiden lähde: SYKE).

Heikkilänjoen muissa vesianalyysien tuloksissa (Kuva 43) on havaittavissa melkein kaikissa samanlainen käyrän muoto. Alussa ja lopussa arvot ovat korkeampia kuin joen puolivälissä. Varsinkin kilometrin 2, eli pisteen 104, kohdalla näkyy piikki COD_{Mn}:n sekä raudan pitoisuuksissa. Kiviluomassa ja Kirppuluomassa havaittiin pääuomaa korkeammat väriluku, COD_{Mn} sekä rautapitoisuudet.



Kuva 43. Heikkilänjoesta 8.8.-14.8.2018 otettujen vesinäytteiden analyysitulokset.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Diplomityön näytteenottoaika oli kesän 2018 elokuussa, joka oli poikkeuksellisen lämmin ja vähäsateinen. Myös näytteenoton aikana satoi vain 2 kertaa silloin, kun virtaamamittauksia otettiin, joten sateet eivät suuremmin vaikuttaneet mittaustuloksiin. Toisaalta koko kesän vähäsateisuus saattoi vaikuttaa tutkittujen jokien vesimäärään. Tällä saattoi olla vaikutusta siihen, että työssä tutkittujen pohjavesi-indikaattoreiden, eli isotooppien, piidioksidin, lämpötilojen sekä virtaamamittausten tulokset antoivat tavallista vuotta korkeampia pohjavesisignaaleja Lapväärtin-Isojoella sekä Heikkilänjoella. Myös veden laatu saattoi olla normaalista poikkeava, sillä valuma-alueelta veteen tuleva kuormitus saattoi vähäisten sateiden vuoksi olla normaalia pienempää. Toisaalta pistekuormitukset kuten jätevesipäästöt saattoivat korostua. Tämä johtuu siitä, ettei jätevesi pääse laimenemaan jokiveteen yhtä hyvin kuin normaalisti, jos jokivettä on vähemmän.

Sekä Lapväärtin-Isojoen että Heikkilänjoen pääuomassa virtaava vesi oli tutkittujen pohjavesi-indikaattorien mukaan hyvin pohjavesivaikutteinen. Jokiuomaan tulevan pohjavesivalunnan määrä suhteessa pintavesivaluntaan oli jokien latvoilla korkeinta ja laski alavirtaan kuljettaessa. Korkea pohjaveden määrä uomassa johtui todennäköisesti osaltaan vähäsateisesta ja lämpimästä kesästä sekä siitä, että mittaukset tehtiin alivirtaamakaudella. Tällöin pohjaveden määrä suhteessa pintaveteen kasvaa uomassa, koska maa- ja pintavalunta on vähäistä. Yksi syy korkeaan pohjavesisignaaliin varsinkin Lapväärtin-Isojoen ensimmäisissä näytteenottopisteissä on se, että Lapväärtin-Isojoki saa alkunsa lähteistä.

Pohjavesisignaali vahvistui molempien jokien osalta niissä pääuoman kohdissa, joissa joki virtasi pohjavesialueen läpi tai hyvin lähellä pohjavesialuetta. Tämä vahvistaa oletusta siitä, että tutkituista pohjavesialueista purkautuu pohjavettä jokeen. Kaskelankankaan ja Korkiaharjun pohjavesialueiden kohdalla huomattavaa pohjavesisignaalin nousua ei ollut havaittavissa, mutta tämä saattoi johtua jokiveden jo alkuaan korkeasta pohjavesivaikutteisuudesta uoman alkupäässä, sillä piidioksidipitoisuus ja virtaama kuitenkin kasvoivat hieman pohjavesialueiden kohdalla. Koska pohjavettä purkautui havaintojen mukaan jokaisen tutkitun pohjavesialueen kohdalla jokeen jossain määrin, on E-luokitus mahdollinen, jos muut kriteerit (suora pohjavesivaikutteisuus, kohteen luonnontilaisuus tai luonnontilaisen kaltaisuus,

ekosysteemin suojelustatus ja merkittävyys) sen mahdollistavat. Kaikki tässä diplomityössä tutkitut pohjavesialueet kannattanee siis ottaa tarkkailuun ja mahdollisesti lisätä E-luokituksia jatkossa, kun nähdään, vaikuttaako Villamon padon avaaminen tai muut alueella tehtävät toimenpiteet esimerkiksi jokihelmisimpukoiden kannan kasvuun myös Lapväärtin-Isojoen yläjuoksulla. Muutama pohjavesisignaalin nousu oli havaittavissa myös Lapväärtin-Isojoen pääuoman kohdissa, joissa ei ole luokiteltuja pohjavesialueita. Myös nämä alueet kannattanee ottaa jatkossa tarkkailuun, sillä myös näissä kohdissa saattaa esimerkiksi esiintyä jokihelmisimpukoita, joiden esiintymispaikkojen suojelusta voidaan informoida pohjavesialueen E-luokituksella.

Pohjavesinäytteiden nitraattityypipitoisuudet olivat Kärjenkoski A:n ja Hurttakankaan pohjavesialueiden osalta huomattavasti korkeammat muihin pohjavesinäytteisiin sekä uomista otettuihin vesinäytteisiin verrattuna, vaikka kaikki pohjavesinäytteet kerättiin saman päivän aikana. Hurttakankaalla myös fosfaattifosforipitoisuus oli korkeampi kuin muissa pohjavesialueiden näytteissä ja korkeampi kuin pitoisuus pääuomassa ennen Hurttakankaan pohjavesialuetta. Myös Kaskelankankaan pohjavesialueella mitatut nitraattityppi- ja fosfaattifosforipitoisuudet olivat suuremmat kuin pääuomassa ennen pohjavesialuetta. Lapväärtin-Isojoen pääuomasta mitattujen nitraattityppi- ja fosfaattifosforipitoisuuksien kasvu varsinkin näiden pohjavesialueiden kohdalla voi siis johtua pohjavesialueilta tulevasta pohjavesivalunnasta, joka kuljettaa ravinteita jokeen. Myös useista sivu-uomista, joissa mitattiin korkeat piidioksidipitoisuudet, mitattiin myös kohonneita ravinnepitoisuuksia. Näihin voisi mahdollisissa jatkotutkimuksissa kiinnittää huomiota ja selvittää päästöjen lähdettä, sillä kohonneet ravinnepitoisuudet voivat vaikuttaa alueen ekosysteemeihin haitallisesti. Alueella tapahtuvat metsätalouteen liittyvät toimet kuten hakkuut, maanmuokkaus, ojitus ja metsien lannoitus voivat olla yksi selittävä tekijä typpikuormalle. Tähän liittyen Freshabit LIFE IP -hankkeeseen kuuluvatkin alueella tehtävät Metsäkeskuksen maastokartoitukset, joiden tavoitteena on vähentää metsätalouden aiheuttaman ravinne- ja kiintoainekulkeumien pääsyä vesistöihin. Isojoen jätevedenpuhdistamo on myös tulosten mukaan mahdollisesti typpikuormituksen pistemäinen päästölähde. Diplomityössä tutkittu veden laadun arviointi jäi tässä diplomityössä kuitenkin rajatuksi ja laatua arvioitiin lähinnä ravinteiden näkökulmasta. Tätä laadun arviointia on mahdollista tehdä mahdollisissa jatkotutkimuksissa laajemminkin.

7 LÄHDELUETTELO

Aluehallintovirasto, 2010. Kotokeitaan turvetuotantoa koskeva ympäristölupa ja toiminnan aloittaminen muutoksenhausta huolimatta, Isojoki. Päätos Nro 84/2010/3. Saatavilla: http://www.avi.fi/documents/10191/56820/esavi_paatos_84_2010_3-2010-12-17.pdf

Britschgi R., Antikainen M., Ekholm-Peltonen M., Hyvärinen V., Nylander E., Siiro P. & Suomela T., 2009. Pohjavesialueiden kartointu ja luokitus, Ympäristöopas. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 75 s. ISBN 978-952-11-3374-9

Britschgi R., Rintala J. & Puharinen S-T., 2018. Pohjavesialueet – opas määrittämiseen, luokitukseen ja suojelusuunnitelmien laadintaan. Ympäristöhallinnon ohjeita 3/2018. Helsinki: Ympäristöministeriö, 142 s. ISBN PDF 978-952-11-4818-7

Clark I., Fritz P., 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology. 2. painos. CRC Press LLC. 328 s. ISBN 1-56670-249-6

Degerman E., Alexanderson S., Bergengren J., Henrikson L., Johansson B-E., Larsen B.M. & Söderberg H., 2009. Restoration of freshwater pearl mussel streams. WWF Sweden, Solna.

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2017. Tiedotteet 2017: Lapväärtin-Isojoen uhanalaiset jokihelmisimpukat viedään elpymään Konnevedelle (Pohjalaismaakunnat) [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/-/lapvaartin-isojoen-uhanalaiset-jokihelmisimpukat-viedaan-elpymaan-konnevedelle-pohjalaismaakunnat-> [Viitattu 18.10.2018]

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2018a. Tiedotteet 2018: Villamon Patoalueen kunnostus on valmistunut ja kalat pääsevät jälleen joen yläosille (Pohjalaismaakunnat) [verkkodokumentti]. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/-/villamon-patoalueen-kunnostus-on-valmistunut-ja-kalat-paasevat-jalleen-joen-ylaosille-pohjalaismaakunnat-> viitattu [18.10.2018].

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2018b. Tiedotteet 2018: Lämmin ja kuiva kesä näkyi jokivesistöjen tilassa, myös vedenpinnat ovat edelleen alhaalla

(Pohjalaismaakunnat) [verkkodokumentti]. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. Saatavissa: https://www.ely-keskus.fi/web/ely/tiedotteet-2018/-/asset_publisher/gcihgimBubZ0/content/lammin-ja-kuiva-kesa-nakyi-jokivesistojen-tilassa-mynos-vedenpinnat-ovat-edelleen-alhaalla-pohjalaismaakunnat-?redirect=https%3A%2F%2Fwww.ely-keskus.fi%2Fweb%2Fely%2Ftiedotteet-2018%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_gcihgimBubZ0%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-8%26p_p_col_count%3D1 viitattu [5.12.2018]

Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, 2018. Pohjavesialueet - Etelä-Pohjanmaa, Pohjanmaa ja Keski-Pohjanmaa. Pohjavesialueiden rajaaminen ja luokitus 2018-2020 [verkkodokumentti]. Ympäristöhallinto. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Pohjaveden_suojelu/Pohjavesialueet/Pohjavesialueet__EteläPohjanmaa_Pohjanmaa\(28412\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Pohjaveden_suojelu/Pohjavesialueet/Pohjavesialueet__EteläPohjanmaa_Pohjanmaa(28412)) [viitattu 16.10.2019]

Euroopan komissio, 2008. Pohjaveden suojelu Euroopassa. Uusi pohjavesidirektiivi – vahvistamassa EU:n lainsäädännön puitteita. Luxemburg: Euroopan virallisten julkaisujen toimisto, 35 s. ISBN 978-92-79-09828-4

GTK, 2020. Pohjavesi [Verkkodokumentti]. Geologian tutkimuskeskus. Saatavilla: <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/pohjavesi/> [viitattu 22.1.2020]

Haldin L. (toim.), Teppo A., Ritalampi E., 2016. Isojoen-Teuvanjoen vesistöalueiden vesienhoidon toimenpideohjelma 2016-2021. Raportteja 54/2016. Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 137 s. ISBN 978-952-314-457-6 (PDF). Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-314-457-6>

Hartikainen H., 2016a. 4. Aineiden käyttäytyminen maaperässä 4.1. Johdanto. Teoksessa: Äijö H. (toim.) Maan vesi- ja ravinnetalous – Ojitus, kastelu ja ympäristö. 2. täydennetty painos. Helsinki: Salaojayhdistys ry. ISBN 978-952-5345-34-6. Saatavissa: http://salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2016/05/web_maanvesijaravinnetalous_B5_2016.pdf

Hartikainen H., 2016b. 4. Aineiden käyttäytyminen maaperässä 4.5 Fosfori. Teoksessa: Äijö H. (toim.) Maan vesi- ja ravinnetalous – Ojitus, kastelu ja ympäristö. 2. täydennetty painos. Helsinki: Salaojayhdistys ry. ISBN 978-952-5345-34-6. Saatavissa:

http://salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2016/05/web_maanvesijaravinnetalous_B5_2016.pdf

Ilmonen J., 2013. Lähteiden luontoarvot heikkenevät herkästi. Teoksessa: Aquarius – Suomen Vesiensuojeluyhdistysten Liitto ry: tiedotuslehti 1/2013. Forssa: Suomen Vesiensuojeluyhdistysten Liitto ry, 35 s.

Isokangas E., 2013. Veden stabiilit isotoopit harjuaalueen hydrologisissa tutkimuksissa [Diplomityö]. Oulu: Oulun yliopisto, 85 s.

Jensen T., 2018. Raakku, Suomen vanhin eläin, on kuolemassa sukupuuttoon. Saatavilla: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2018/03/25/raakku-suomen-vanhin-elain-on-kuolemassa-sukupuuttoon> [viitattu 11.12.2018]

Kallio-Nyberg I., Jutila E., Saura A. (toim.), 2002. Meritaimenen tila ja kalastus Pohjanlahden alueella. Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar 182. Helsinki: Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, 69 s. ISBN 951-776-362-X

Karvonen T., 2016. 4. Aineiden käyttäytyminen maaperässä 4.3. Veteen liuenneiden aineiden kulkeutuminen maaperässä. Teoksessa: Äijö H. (toim.) Maan vesi- ja ravinnetalous – Ojitus, kastelu ja ympäristö. 2. täydennetty painos. Helsinki: Salaojayhdistys ry. ISBN 978-952-5345-34-6. Saatavissa: http://salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2016/05/web_maanvesijaravinnetalous_B5_2016.pdf

Korhonen J., 2007. Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut, Suomen ympäristö 45/2007, Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Yliopistopaino, Suomen ympäristökeskus, 120 s. ISBN 978-952-11-2935-3 (PDF).

Korkka-Niemi, K. & Salonen, V-P., 1996. Maanalaiset vedet – pohjavesigeologian perusteet, Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskuksen julkaisuja A:50. Ensimmäinen painos. Vammala: Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus, 181 s. ISBN 951-29-0825-5

Kortelainen N. M & Karhu J. A, 2004. Regional and seasonal trends in the oxygen and hydrogen isotope ratios of Finnish groundwaters: a key for mean annual precipitation. Journal of Hydrology, Volume 285, Issues 1-4, s. 143-157.

Kyllönen K., 2018. The variation of stable isotopes of water in precipitation in Finland [diplomityö]. Oulu: Oulun yliopisto. 84 s + 2 liitettä.

Leibundgut C., Maloszewski P., Külls C., 2009. Tracers in Hydrology. Ensimmäinen painos. UK, Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons Ltd., 415 s. ISBN 978-0-470-51885-4.

Leppänen J., Vähä J-P., Taskinen J., 2018. Jokihelmisimpukka Karjaanjoen vesistössä – historia, nykytila ja pelastamistoimet. Raportti a149/2018. Lohja: Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. 28 s. Saatavilla: http://www.luvy.fi/easydata/customers/luvy/files/hankkeet/lohikalat_karjaanjokeen/freshabit_life_ip/hankkeen_raportit/jokihelmisimpukka_karjaanjoen_vesistossa__historia_n_ynkkytila_ja_pelastamistoimet.pdf

Leminen M. (toim.), Ikonen M. (toim.), 2016. Raportteja 49/2016. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen alueen pohjavesien toimenpideohjelma 2016-2021. Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. ISBN 978-952-314-452-1 (PDF)

Metsähallitus, 2016. Freshabit LIFE IP –hanke [verkkodokumentti]. Vantaa: Metsähallitus. Saatavissa: <https://julkaisut.metsa.fi/assets/pdf/lp/Esitteet/freshabitfin.pdf> [viitattu 17.10.2018].

Metsähallitus, 2018. Freshabit LIFE IP –hankkeen kohdealueet [verkkodokumentti]. Vantaa: Metsähallitus. Saatavissa: <http://www.metsa.fi/freshabit/kohdealueet> [viitattu 17.10.2018].

Mälkki E, 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi, 304 s. 951-26-4515-7

Nuotio E., 2008. Etelä-Pohjanmaan vedet nyt ja tulevaisuudessa. Länsi-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 1/2008. Vaasa: Länsi-Suomen ympäristökeskus, 163 s. ISBN 978-952-11-2973-5 (PDF). Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-2973-5>

Oravainen R., 1999. Vesistötulosten tulkinta –opasvihkonen. Tampere: Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry., 26 s. [verkkodokumentti]. Saatavilla: <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf>

Paasonen-Kivekäs M., 2016. 4. Aineiden käyttäytyminen maaperässä 4.6. Typpi. Teoksessa: Äijö H. (toim.) Maan vesi- ja ravinnetalous – Ojitus, kastelu ja ympäristö. 2. täydennetty painos. Helsinki: Salaojayhdistys ry. ISBN 978-952-5345-34-6. Saatavissa: http://salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2016/05/web_maanvesijaravinnetalous_B5_2016.pdf.

Palo R., Honka M., Rautio L-M & Raitalampi E., 2017. Isojoen Villamon padon alapuolisen koskijakson luonnonmukainen kunnostussuunnitelma. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. 23s. Saatavilla: http://www.metsa.fi/documents/10739/9170275/Villamon+kunnostussuunnitelma_300617.pdf/866a5ab3-c9c7-46ee-8b0b-cb4110ac20df viitattu [17.10.2018]

Pietiläinen O-P. & Räike A., 1999. Typpi ja fosfori Suomen sisävesien minimiravinteina. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 64s. ISBN 952-0503-8

Raitalampi E. & Pakkala J., 2018. Freshabit-hankkeen toimenpiteiden vaikutukset vesien tilaan Pohjanmaan alueella – esimerkkeinä merivaelteinen taimen ja jokihelmisimpukka [verkkodokumentti]. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B985CB982-6B37-40C4-B265-1F380292742F%7D/139950> [viitattu 18.10.2018].

Salonen J., 2016. The Role of Salmonid Fishes in Conservation of the Endangered Freshwater Pearl Mussel (*Margaritifera margaritifera*). Väitöstutkimus. Yhteenveto. Jyväskylä: University of Jyväskylä. 48 s. ISBN 978-951-39-6602-7 (PDF).

Suomen metsäkeskus, 2016. Freshabit – Isojoki [verkkodokumentti]. Suomen metsäkeskus. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/freshabit-isojoki#toiminta> [viitattu 11.2.2020]

Suomen ympäristökeskus, 2014. Happamoituminen [verkkodokumentti] Ympäristöhallinto. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi->

FI/Vesi/Vesistöjen_kunnostus/Virtavesien_kunnostus/Kunnostustarvetta_aiheuttavia_te
kijoita/Happamoituminen [viitattu 21.2.2020]

Suomen ympäristökeskus, 2019. Pohjaveden esiintyminen ja muodostuminen [verkkodokumentti]. Ympäristöhallinto. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pohjavesien_tila/Pohjaveden_esiintyminen [viitattu 22.2.2020]

SYKE, 2010. Suomen sisävesien tulevaisuus [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskus, Ilmasto-opas.fi. Saatavilla: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/vaikutukset/-/artikkeli/728e8e9e-685f-4d3f-9245-bf7279c6e7eb/sisavedet.html> [viitattu 25.1.2020]

Särkkä J., 1996. Järvet ja ympäristö – Limnologian perusteet. Tampere: Gaudeamus, 157 s. 951-662-667-X

Valtion ympäristöhallinto, 2019. Virtaama / juoksutus - huippujen keski- ja ääriennusteet. 3700300 Perus. Saatavissa: <http://wwwi2.ymparisto.fi/i2/37/q3700300y/wqfi.html#qin> [viitattu 30.9.2019]

Vapo, 2019. Vapo Suomme Netissä 1.3.7 © Vapo 2015. [Verkkopalvelu]. Vapo. Saatavissa: <http://suomme.navici.com:8080/Vaposuot/#> [viitattu 30.9.2019].

Vuorela A., 2018. Jokisimpukoiden lemmenloma Konneveden tutkimusasemalla onnistui – Ähtävänjoen raakkukanta pelastuu [verkkodokumentti]. Yle. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-10421964> [viitattu 5.2.2019].

Liite 1. Lapväärtin-Isojoen näytepisteet.

Taulukko 9. Isojoen näytepisteet. Valkoisella taustalla pääuoma, keltaisella sivu-uomat.

Piste-tunnus	Vesla ID	X-koordinaatti (ETRS-TM35)	Y-koordinaatti (ETRS-TM35)	Uoma	Sijainti tarkennus	Etäisyys pisteestä 1 [km]
1	85193	241011	6893136	Isojoki	Korkiaharjun ja Kaskelankanga A:n yläpuolella	0,0
2	85194	240056	6892120	Isojoki	Korkiaharjun ja Kaskelankanga A:n alapuolella	1,7
3	4134	238750,86	6893729,74	Isojoki	Hurttakankaan ja Kortesmäen yläpuolella	3,9
3_2	85195	238826,29	6893732,71	oja/puro	Mahdollinen isompi oja/puro. Laskee Isojokeen ennen Hurttakangasta ja Kortesmäkeä	3,9
4	85196	238326,16	6894783,77	Isojoki	Kortesmäen alapuolella, (rantatörmän lähteen yläpuolella)	5,1
5	85197	237308,57	6896175,49	Isojoki	Kortesmäen AP, Hurttakankaan rantatörmän lähteiden jälkeen, ennen ojaa/puroa	6,9
5_2	85198	237312	6896202	oja/puro	Mahdollinen isompi oja/puro	6,9
6	85199	236997,1	6896563,7	Isojoki	Em. Ojan/puron alapuolella	7,4
7	52855	236797	6896864	Isojoki	Hurttakankaan alapuolella	7,7
8	85200	235995	6897595	Isojoki	Rimpikangas B:n yläpuolella	8,9
8_2		235986	6897573	oja/puro		8,9
8_3		235965	6897589	oja/puro		8,9
9	85201	235522	6899087	Isojoki	Koniluoman yläpuolella	10,6
9_2		235498	6899081		Koniluomaa vastapäätä tosi pieni puro	10,6
9_3	85205	235558	6899099	Koniluoma	Ennen Isojokeen laskemista	10,6
10	85206	235481	6899381	Isojoki	Em. Ojan/puron alapuolella	10,9
11	85207	235013	6900470	Isojoki	Rimpikangas B:n alapuolella	12,1
12	4155	233295,89	6901697,48	Isojoki	Ennen ojaa/puroa	14,2
13	59765	233144,02	6902027,68	Isojoki	Em. Ojan/puron alapuolella	14,6
14	4159	232865,68	6902819,85	Isojoki	Ennen ojaa/puroa	15,4
14_2	85209	232842,39	6902824,61	oja/puro	Laskee Isojokeen	15,4
14_3		232852	6902828		Lähde puron suulla	15,4
15	4160	232865,6	6902871,3	Isojoki	Em. Ojan/puron alapuolella	15,7

Piste-tunnus	Vesla ID	X-koordinaatti (ETRS-TM35)	Y-koordinaatti (ETRS-TM35)	Uoma	Sijainti tarkennus	Etäisyys pisteestä 1 [km]
16	85210	232565	6903470	Isojoki	Ennen kuin Heikkilänjoki laskee isojokeen	16,1
16_2	85211	232713	6903536	Heikkilänjoki	Juuri ennen Isojokeen laskemista	16,1
17	4099	232323,76	6903800,88	Isojoki	Heikkilänjoen alapuolella	16,5
18	85226	231090	6906023	Isojoki	Pajuluoman yläpuolella	19,5
18_2	59712	231109	6906092	Pajuluoma	Ennen Isojokeen laskemista	19,5
19	85227	230597,84	6905732,3	Isojoki	Pajuluoman alapuolella	20,1
20	85228	230257,06	6905652,92	Isojoki	Ennen Harjunmäkeä/Jätinmäkeä	20,6
21	85229	229411	6905902	Isojoki	Harjunmäen/Jätinmäen jälkeen	21,5
22	85230	229476	6906629	Isojoki	Ämmänojan yläpuolella	22,3
22_2	85231	229275,19	6906657,15	Ämmänoja	Ennen Isojokeen laskemista	22,3
22_3		229256	6906646,9	oja/puro	pienempi puro joka liittyy 44:een	22,3
22_4		229259,2	6906634,6	oja/puro	isompi puro, joka liittyy 44:een	22,3
23	4114	229413,967	6906922,287	Isojoki	Ämmänojan alapuolella	22,6
24_2	85232	229090	6909141	Pohjasoja	Ennen Isojokeen laskemista	24,8
24	85233	228930	6909136	Isojoki	Pohjasojan YP	24,8
25	85238	227763	6910154	Isojoki	Riihiluoman YP	26,4
25_2	85239	227633	6910158	Riihiluoma	Ennen Isojokeen laskemista	26,4
26	85241	227815	6910568	Isojoki	Ohriluoman YP	26,8
26_2	85242	227882	6910713	Ohriluoma	Ennen Isojokeen laskemista	26,8
27	85247	227360	6911405	Isojoki	Ohrikylän sillan kohta	27,7
28_2	85244	223418	6912872	Karijoki	Ennen Lapväärtinjokeen laskemista	33,6
28	85245	223542	6912892	Lapväärtinjoki	Karijoen yläpuolella	33,6
29	4117	222162	6911534	Lapväärtinjoki	Lillån yläpuolella	35,6
29_2	47591	222320	6911431	Lillån (Kärjenjoen alajuoksu)	Ennen Lapväärtinjokeen laskemista	35,6

Liite 2. Lapväärtin-Isojoen pohjavesi-indikaattorien ja virtaamamittausten tulokset.

Taulukko 10. Lapväärtin-Isojoen pohjavesi-indikaattoreiden ja virtaamamittausten tulokset. Valkoisella taustalla pääuoma, keltaisella sivu-uomat.

Piste-tunnus	Uoma	Etäisyys pisteestä 1 [km]	Näytteenottoaika	Ilman/veden lämpötila [°C]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	Piidioksidi (SiO_2) [mg/l]	Virtaama mitattu	Virtaama [m^3/s]	Uoman pinta-ala [m^2]	Uoman leveys [m]	Max. Syvyys [m]	Keskinopeus [m/s]
1	Isojoki	0	13.8.2018 klo 8.40	13/ 12,4	-11,49	-84,11	9,6	12.8.2018 klo 8.45-9.45	0,1608	3,2545	5,95	0,88	0,0494
2	Isojoki	1,68	13.8.2018 klo 10.15	15/ 12,8	-11,49	-83,75	10	12.8.2018 klo 10.35-11.30	0,1704	1,4849	7,8	0,32	0,1148
3	Isojoki	3,877	13.8.2018 klo 11.15	16/ 12,6	-11,43	-83,42	11	12.8.2018 klo 12.15-12.05	0,1884	6,0271	7,5	1,2	0,0313
3_2	oja/puro	3,877	13.8.2018 klo 10.55	16/ 10,6	-11,54	-83,58	18	12.8.2018 klo 11.45-12.00	0,0087	0,1829	1,3	0,25	0,0476
4	Isojoki	5,051	13.8.2018 klo 11.55	16/ 12,8	-11,47	-83,56	12	12.8.2018 klo 15.45-16.45	0,2568	5,2704	8,9	0,72	0,0487
5	Isojoki	6,881	13.8.2018 klo 13.15	16/ 12,8	-11,49	-83,64	14						
5_2	oja/puro	6,881	13.8.2018 klo 13.00	16/ 12,7	-11,04	-81,18	11	12.8.2018 klo 17.00-18.00	0,0008	0,1128	1,2	0,12	0,0069
6	Isojoki	7,361	13.8.2018 klo 13.51	16/ 13,0	-11,48	-83,53							
7	Isojoki	7,722	13.8.2018 klo 14.10	17/ 13,2	-11,48	-83,49	14	12.8.2018 klo 18.30-19.30	0,2519	1,5609	6,65	0,43	0,1614
8	Isojoki	8,894	14.8.2018 klo 9.20	16/ 12,0	-11,48	-83,58	14	18.8.2018 klo 9.00-10.00	0,2844	6,504	8,6	1	0,0437
8_2	oja/puro	8,894	14.8.2018 klo 9.11	16/ 10,2	-11,41	-82,64		18.8.2018 klo 10.00-10.15	0,0176	0,4012	2,3	0,4	0,0438
8_3	oja/puro	8,894	14.8.2018 klo 9.17	16/ 8,0	-11,52	-83,24		18.8.2018 klo 10.15-10.30	0,0053	0,525	1,9	0,45	0,0099
9	Isojoki	10,596	14.8.2018 klo 10.30	18/ 11,8	-11,49	-83,60	15	18.8.2018 klo 11.30-12.30	0,2963	5,8548	7,6	1,21	0,0506
9_2		10,596	14.8.2018 klo 10.26	18/ 8,7	-11,37	-81,94							
9_3	Koniluoma	10,596	14.8.2018 klo 10.50	19/ 9,0	-11,54	-83,64	24						
10	Isojoki	10,896	14.8.2018 klo 11.35	19/ 11,9	-11,47	-83,62							
11	Isojoki	12,096	14.8.2018 klo 12.10	19/ 12,2	-11,50	-83,63	15	18.8.2018 klo 13.00-14.00	0,3437	6,18	9,5	1,1	0,0556
12	Isojoki	14,207	14.8.2018 klo 13.10	19/ 12,3	-11,50	-83,63	16						

Piste- tunnus	Uoma	Etäisyys pisteestä 1 [km]	Näytteenottoaika	Ilman/ veden lämpötila [°C]	δ ¹⁸ O [‰]	δ ² H [‰]	Piidioksidi (SiO ₂) [mg/l]	Virtaama mitattu	Virtaama [m³/s]	Uoman pinta- ala [m²]	Uoman leveys [m]	Max. Syvyys [m]	Keskinopeus [m/s]
13	Isojoki	14,582	14.8.2018 klo 13.35	19/ 12,9	-11,49	-83,60							
14	Isojoki	15,41	14.8.2018 klo 14.10	19/ 13,0	-11,49	-83,69	16						
14_2	oja/puro	15,41	14.8.2018 klo 14.05	19/ 6,7	-11,87	-85,93	30						
14_3		15,41	14.8.2018 klo 14.15	19/ 6,0	-11,89	-86,55	32						
15	Isojoki	15,7	14.8.2018 klo 14.45	19/ 13,2	-11,52	-84,13							
16	Isojoki	16,125	14.8.2018 klo 15.20	19/ 13,5	-11,52	-84,10	16	18.8.2018 klo 14.40-15.30	0,3788	4,6723	6,2	1,2	0,0811
16_2	Heikkilänjoki	16,125	14.8.2018 klo 15.50	19/ 15,0	-11,57	-84,61	14	17.8.2018 klo 17.30-19.00	0,2484	3,9103	5,4	1,03	0,0635
17	Isojoki	16,534	15.8.2018 klo 8.50	11/ 12,4	-11,51	-84,00							
18	Isojoki	19,51	15.8.2018 klo 9.30	13/ 14,4	-11,49	-84,14	15						
18_2	Pajuluoma	19,51	15.8.2018 klo 8.50	12/ 11,7	-9,65	-73,17	7,5						
19	Isojoki	20,082	15.8.2018 klo 10.10	14/ 14,4	-11,39	-83,75							
20	Isojoki	20,642	15.8.2018 klo 10.30	14/ 14,3	-11,41	-83,82	14	21.8.2018	0,86				
21	Isojoki	21,524	15.8.2018 klo 11.10	15/ 14,8	-11,49	-84,22	13	21.8.2018 klo 10.30	1,1419				
22	Isojoki	22,254	15.8.2018 klo 12.35	16/ 15,5	-11,43	-83,83	12						
22_2	Ämmänoja	22,254	15.8.2018 klo 12.05	16/ 11,9	-10,52	-78,59	20						
22_3	oja/puro	22,254	15.8.2018 klo 11.45	16/ 11,1	-11,23	-82,14							
22_4	oja/puro	22,254	15.8.2018 klo 11.55	16/ 12,4	-10,25	-77,20							
23	Isojoki	22,554	15.8.2018 klo 13.00	17/ 16,0	-11,41	-83,64							
24_2	Pohjasoja	24,82	15.8.2018 klo 13.55	18/ 12,3	-5,88	-57,44	3,7						
24	Isojoki	24,82	15.8.2018 klo 14.35	20/ 15,6	-11,39	-83,42	8,8						
25	Isojoki	26,369	16.8.2018 klo 14.15	18/ 15,2	-11,44	-83,64	11						
25_2	Riihiluoma	26,369	16.8.2018 klo 13.50	18/ 12,6	-11,40	-83,11	19						
26	Isojoki	26,786	16.8.2018 klo 13.10	17/ 15,4	-11,42	-83,64	11						
26_2	Ohrioluoma	26,786	16.8.2018 klo 11.55	17/ 11,1	-10,87	-80,17	24						
27	Isojoki	27,738	16.8.2018 klo 11.55	17/ 14,7	-11,42	-83,67	10						
28_2	Karjoki	33,62	16.8.2018 klo 10.00	15/ 12,3	-11,27	-83,06	15						
28	Lapväärtinjoki	33,62	16.8.2018 klo 9.15	14/ 14,1	-11,37	-83,33	9,7						
29	Lapväärtinjoki	35,556	16.8.2018 klo 10.35	16/ 14,6	-11,33	-83,13	8,9						
29_2	Lillån (Kärjenjoen alajuoksu)	35,556	16.8.2018 klo 11.10	16/ 13,6	-10,57	-79,46	8,7						

Liite 3. Lapväärtin-Isojoen vesinäytteiden laadun analyysitulokset.

Taulukko 11. Lapväärtin-Isojoen vedenlaadun tulokset. Valkoisella taustalla pääuoma, keltaisella sivu-uomat.

Piste- tunnus	Näytteenottoaika	väriluku [mg/l Pt]	pH ±0,2	Alkaliniteetti [mmol/l] ±0,042	Happi- pitoisuus (O ₂) [mg/l]	Hapen kyllästys- prosentti	CODMn [mg/l]	Nitraatti- typpi (NO ₃ - N) [µg/l]	Ammonium- typpi (NH ₄ -N) [µg/l] ±3	Fosfaatti- fosfori (PO ₄ -P) [µg/l] ±4,5	mangaani (Mn) [µg/l]	Rauta (Fe) [µg/l]
1	13.8.2018 klo 8.40	86	7,3	0,33	7,8	73	8,4	12	6	17	8,1	1100
2	13.8.2018 klo 10.15	76	7,4	0,34	8	76	7,7	54	14	20	16	1100
3	13.8.2018 klo 11.15	79	7,4	0,35	8,3	78	7,7	63	15	24	10	1200
3_2	13.8.2018 klo 10.55	49	7,4	0,29	9,8	88	6,2	120	14	21	9,6	960
4	13.8.2018 klo 11.55	72	7,4	0,38	8,1	77	7,1	110	19	27	11	1100
5	13.8.2018 klo 13.15	65	7,5	0,42	8,3	79	6,4	130	20	30	12	1100
5_2	13.8.2018 klo 13.00	100	7,1	0,19	8,5	80	13	250	44	70	19	1200
6	13.8.2018 klo 13.51											
7	13.8.2018 klo 14.10	64	7,5	0,43	8,6	82	6,4	170	16	30	12	1000
8	14.8.2018 klo 9.20	60	7	0,43	8,7	81	6,1	200	16	27	11	900
8_2	14.8.2018 klo 9.11											
8_3	14.8.2018 klo 9.17											
9	14.8.2018 klo 10.30	55	7	0,43	8,3	77	5,7	280	40	27	15	840
9_2	14.8.2018 klo 10.26											
9_3	14.8.2018 klo 10.50	47	6,8	0,51	4,8	42	6,4	9,6	5,8	26	210	1500
10	14.8.2018 klo 11.35											
11	14.8.2018 klo 12.10	52	7,4	0,43	8,8	82	5,4	310	41	27	13	810
12	14.8.2018 klo 13.10	51	7,3	0,45	8,8	82	5,2	300	43	26	17	810
13	14.8.2018 klo 13.35											
14	14.8.2018 klo 14.10	52	7,4	0,46	9,3	89	5,2	300	28	30	19	890
14_2	14.8.2018 klo 14.05	14	7,2	1,1	3	24	0,8	20	57	120	490	1200
14_3	14.8.2018 klo 14.15	7,6	7,1	1,1	1,3	11	0,64	9	53	100	650	1100
15	14.8.2018 klo 14.45											
16	14.8.2018 klo 15.20	54	7,4	0,47	9,6	92	5,3	300	21	30	20	940

Piste- tunnus	Näytteenottoaika	väriluku [mg/l Pt]	pH ±0,2	Alkaliniteetti [mmol/l] ±0,042	Happi- pitoisuus (O ₂) [mg/l]	Hapen kyllästys- prosentti	CODMn [mg/l]	Nitraatti- typpi (NO ₃ - N) [µg/l]	Ammonium- typpi (NH ₄ -N) [µg/l] ±3	Fosfaatti- fosfori (PO ₄ -P) [µg/l] ±4,5	mangaani (Mn) [µg/l]	Rauta (Fe) [µg/l]
16_2	14.8.2018 klo 15.50	64	7,5	0,44	9,7	96	6,3	13	9	26	18	1100
17	15.8.2018 klo 8.50											
18	15.8.2018 klo 9.30	60	7,4	0,45	8,3	81	5,9	150	23	23	20	1100
18_2	15.8.2018 klo 8.50	230	6,5	0,12	8,4	78	30	7	6	15	13	1600
19	15.8.2018 klo 10.10											
20	15.8.2018 klo 10.30	63	7,4	0,45	9,1	89	6,2	120	12	25	19	1100
21	15.8.2018 klo 11.10	63	7,5	0,46	9,5	94	6,1	95	11	23	13	970
22	15.8.2018 klo 12.35	65	7,6	0,44	10,5	106	6,3	66	10	22	21	990
22_2	15.8.2018 klo 12.05	190	7,3	0,42	8	74	22	300	20	130	41	2800
22_3	15.8.2018 klo 11.45											
22_4	15.8.2018 klo 11.55											
23	15.8.2018 klo 13.00											
24_2	15.8.2018 klo 13.55	190	5,3	0,024	7,9	74	25	28	6	6,6	19	630
24	15.8.2018 klo 14.35	63	7,6	0,45	11,3	113	5,4	9	7	21	25	930
25	16.8.2018 klo 14.15	58	7,4	0,58	8	80	5,8	8	17	21	38	860
25_2	16.8.2018 klo 13.50	99	7,3	0,38	9,5	89	12	110	24	72	60	2400
26	16.8.2018 klo 13.10	59	7,5	0,55	8,8	88	5,7	12	14	25	32	970
26_2	16.8.2018 klo 11.55	140	7,4	0,98	8,4	76	13	560	170	78	54	2700
27	16.8.2018 klo 11.55	60	7,4	0,55	9	89	5,7	9	15	23	28	1100
28_2	16.8.2018 klo 10.00	99	7,4	0,8	8,7	81	11	40	53	69	54	1700
28	16.8.2018 klo 9.15	62	7,5	0,6	9,1	89	6,2	8	13	24	15	1100
29	16.8.2018 klo 10.35	71	7,4	0,62	9,3	91	6,9	12	15	35	20	1200
29_2	16.8.2018 klo 11.10	89	7,5	0,77	8,7	85	7,5	8	15	22	28	2100

Liite 4. Heikkilänjoen näytepisteet.

Taulukko 12. Heikkilänjoen näytepisteet. Valkoisella taustalla Heikkilänjoen pääuoma, keltaisella sivu-uomat.

Piste-tunnus	Vesla ID	X-koordinaatti (ETRS-TM35)	Y-koordinaatti (ETRS-TM35)	Uoma	Sijainti tarkennus	Etäisyys pisteestä 101 [km]
101	85216	241790	6907470	Heikkilänjoki	Hukanluoman YP	0
101_2	85215	241893	6907380	Hukanluoma	Ennen Heikkilänjokeen laskemista, luoma kerää vettä lähdealueelta	0
102	85217	241907	6907013	Heikkilänjoki	Meraluoman YP	0,5
103	85219	241912	6906839	Heikkilänjoki	Hukanluoman ja Meraluoman AP	0,6
103_2				oja/puro	Pellon reunasta laskeva pieni puro	0,6
104	4191	240912	6906124	Heikkilänjoki	Paattikankaan vesiäkin keräävän puron YP	2
104_2	85214	241074	6906015	oja/puro	Paattikankaan vesiäkin keräävä puro, ennen Heikkilänjokeen laskemista	2
105	85212	240887	6905857	Heikkilänjoki	Paattikankaan vesiäkin keräävän puron AP	2,1
106	85213	239121	6905576	Heikkilänjoki	Järvimäki A:n AP	4
107	85220	237952	6905500	Heikkilänjoki	Kiviluoman YP	5,5
107_2	85221	237997	6905421	Kiviluoma	Ennen Heikkilänjokeen laskemista	5,5
108	85222	237872	6905294	Heikkilänjoki	Kiviluoman AP	5,6
109	85225	234886	6904856	Heikkilänjoki	Kirppuluoman YP	9
109_2	85223	234869	6905041	Kirppuluoma	Ennen Heikkilänjokeen laskemista	9
16_2	85211	232706	6903535	Heikkilänjoki	Ennen Isojokeen laskemista	12

Liite 5. Heikkilänjoen pohjavesi-indikaattorien ja virtaamamittausten tulokset.

Taulukko 13. Heikkilänjoen pohjavesianalyysit ja virtaamamittauksen tulokset. Valkoisella taustalla Heikkilänjoen pääuoma, keltaisella sivu-uomat.

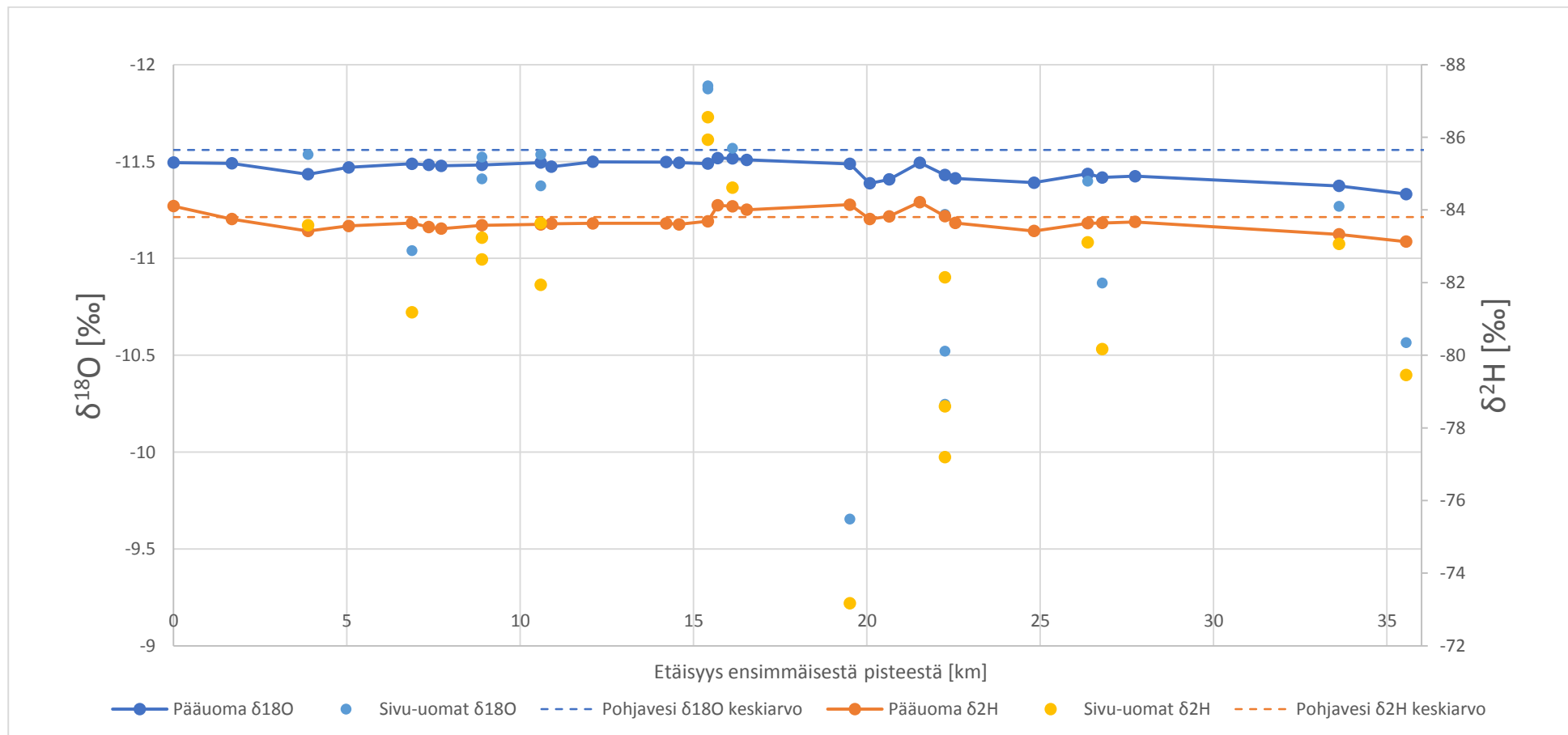
Piste-tunnus	Uoma	Etäisyys pisteestä 101 [km]	Näytteenottoaika	Ilman/ veden lämpötila [°C]	δ18O [‰]	δ2H [‰]	Piidioksidi (SiO ₂) [mg/l]	Virtaama mitattu	Virtaama [m ³ /s]	Pinta-ala [m ²]	Uoman leveys [m]	Max. Syvyys [m]	Keski- nopeus [m/s]
101	Heikkilänjoki	0	10.8.2018 klo 12.00	25/ 15,8	-11,73	-85,40		10.8.2018 klo 11.50-12.20	0,0584	0,4055	1,95	0,35	0,144
101_2	Hukanluoma	0	9.8.2018 klo 13.35	23/ 15,4	-11,63	-84,82	15	10.8.2018 klo 10.50-11.30	0,0264	1,9335	6,1	0,5	0,0137
102	Heikkilänjoki	0,5	9.8.2018 klo 13.00	23/ 15,4	-11,69	-85,19	15	10.8.2018 klo 9.55-10.20	0,0837	0,7931	4,5	0,3	0,1055
103	Heikkilänjoki	0,6	9.8.2018 klo 12.30	23/ 15,3	-11,67	-85,10							
103_2	oja/puro	0,6	9.8.2018 klo 12.33	23/ 16,8	-11,54	-84,25							
104	Heikkilänjoki	2	8.8.2018 klo 13.00	24/ 12,9	-11,56	-84,75	15	8.8.2018 klo 13.00-14.00	0,0854	3,5095	8,5	0,58	0,0243
104_2	oja/puro	2	8.8.2018 klo 12.00	24/ 10,3	-11,70	-85,33	16	8.8.2018 klo 12.00-12.30	0,1385	1,2012	4,85	0,39	0,1153
105	Heikkilänjoki	2,1	8.8.2018 klo 13.55	24/ 11,5	-11,66	-85,15							
106	Heikkilänjoki	4	9.8.2018 klo 11.48	23/ 15,2	-11,67	-85,13	16	7.8.2018 klo 14.45-16.00	0,3268	2,0515	8,3	0,4	0,1593
107	Heikkilänjoki	5,5	9.8.2018 klo 11.15	23/ 15,1	-11,66	-85,18	16	7.8.2018 klo 12.45-14.00	0,3106	3,0306	6,55	0,6	0,1025
107_2	Kiviluoma	5,5	9.8.2018 klo 11.00	23/ 15,3	-11,48	-83,75	17	7.8.2018 klo 14.15-14.30	0,0101	0,04	0,4	0,15	0,2525
108	Heikkilänjoki	5,6	9.8.2018 klo 11.27	23/ 15,4	-11,65	-85,11							
109	Heikkilänjoki	9	9.8.2018 klo 14.45	24/ 15,6	-11,58	-84,75	15						
109_2	Kirppuluoma	9	9.8.2018 klo 14.17	24/ 18,6	-10,29	-77,01	19						
16_2	Heikkilänjoki	12	14.8.2018 klo 15.50	19/ 15,0	-11,57	-84,61	14	17.8.2018 klo 17.30-19.00	0,2484	3,9103	5,4	1,03	0,0635

Liite 6. Heikkilänjoen vesinäytteiden laadun analyysitulokset.

Taulukko 14. Heikkilänjoen vesinäytteiden laadun analyysitulokset. Valkoisella taustalla Heikkilänjoen pääuoma, keltaisella sivu-uomat.

Piste- tunnus	Näytteenottoaika	väriluku [mg/l Pt]	pH ±0,2	Alkaliniteetti [mmol/l] ±0,042	Happi- pitoisuus (O ₂) [mg/l]	Hapen kyllästys- prosentti	CODMn [mg/l]	Nitraatti- typpi (NO ₃ - N) [µg/l]	Ammonium- typpi (NH ₄ -N) [µg/l] ±3	Fosfaatti- fosfori (PO ₄ - P) [µg/l] ±4,5	Mangaani (Mn) [µg/l]	Rauta (Fe) [µg/l]
101	10.8.2018 klo 12.00											
101_2	9.8.2018 klo 13.35	120	7	0,18	8,1	80	14	34	7	18	7,2	1200
102	9.8.2018 klo 13.00	80	7,4	0,39	8,4	83	8,3	42	18	19	10	1100
103	9.8.2018 klo 12.30											
103_2	9.8.2018 klo 12.33											
104	8.8.2018 klo 13.00	84	7,5	0,41	9,5	89	14	49	10	21	9,6	1300
104_2	8.8.2018 klo 12.00	45	7,5	0,35	10,1	90	5,2	44	7	15	7,2	400
105	8.8.2018 klo 13.55											
106	9.8.2018 klo 11.48	68	7,5	0,4	9,4	93	6,6	34	12	21	8,6	930
107	9.8.2018 klo 11.15	65	7,5	0,41	8,8	87	6,7	26	13	21	18	910
107_2	9.8.2018 klo 11.00	120	7	0,26	8,4	84	16	65	22	100	15	1700
108	9.8.2018 klo 11.27											
109	9.8.2018 klo 14.45	72	7,4	0,42	8,8	88	7,6	18	16	25	17	1100
109_2	9.8.2018 klo 14.17	290	7,2	0,37	7,8	84	32	310	40	150	16	2600
16_2	14.8.2018 klo 15.50	64	7,5	0,44	9,7	96	6,3	13	9	26	18	1100

Liite 7. Lapväärtin-Isojoen isotooppitulokset.



Liite 8. Heikkilänjoen isotooppitulokset.

